SSNV105 - Modèle BETON_GRANGER_V : essai de fluage avec prise en compte de l'humidité relative et du vieillissement.

Résumé :

Ce cas-test de mécanique quasi-statique non linéaire simule un essai de fluage uniaxial. Il a pour objectif de valider la relation de comportement de « Granger », permettant de modéliser le fluage propre des bétons. Ce modèle permet de prendre en compte les effets de l'hygrométrie et du vieillissement.

Il s'agit d'un cas-test sur le point matériel, réalisés à l'aide de la commande SIMU_POINT_MAT.
La contrainte appliquée est constante. On étudie séparément l'effet de l'hygrométrie et du vieillissement :

- ssnv105a : l'humidité relative décroît linéairement, le béton est non-vieillissant ;
- ssnv105b : l'humidité relative est constante et égale à la valeur de référence, le béton est vieillissant.

Les résultats obtenus par *Code_Aster* sont comparés avec 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

Le test est réalisé sur le point matériel, à l'aide de la commande SIMU_POINT_MAT.

1.2 Propriétés des matériaux

Elasticité isotrope (mot-clé ELAS_FO)

$E=30000\ MPa$
$\nu=0,2$
$\alpha=10^{-5}$

Fonction de vieillissement (mot-clé V_BETON_GRANGER)

$$k(t_c)=\frac{28^{0,2}+0,1}{t_c^{0,2}+0,1}$$

Fluage propre : propriétés des chaînes de Kelvin (mot-clé BETON_GRANGER)

$J_1=1,2\cdot10^{-7}\ MPa^{-1}$	$\tau_1=2\cdot10^{-3}$ jours
$J_2=2,6\cdot10^{-7}\ MPa^{-1}$	$\tau_2=2\cdot10^{-2}$ jours
$J_3=2,7\cdot10^{-6}\ MPa^{-1}$	$\tau_3=2\cdot10^{-1}$ jours
$J_4=2,71\cdot10^{-6}\ MPa^{-1}$	$\tau_4=2$ jours
$J_5=8,08\cdot10^{-6}\ MPa^{-1}$	$\tau_5=2\cdot10$ jours
$J_6=1,808\cdot10^{-5}\ MPa^{-1}$	$\tau_6=2\cdot10^{2}$ jours
$J_7=1,901\cdot10^{-5}\ MPa^{-1}$	$\tau_7=2\cdot10^{3}$ jours
$J_8=1,139\cdot10^{-5}\ MPa^{-1}$	$\tau_8=2\cdot10^{4}$ jours

Tableau 1.2-1

La **fonction de désorption** (à renseigner sous le mot-clé ELAS_FO) décrit l'allure de l'humidité relative h en fonction de la teneur en eau C (qui correspond à la variable de commande Code_Aster SECH).

- Pour la modélisation A, cette fonction est linéaire si $50\,kg/m^3 \le C \le 100\,kg/m^3$ et constante au dehors de ces bornes ; l'humidité varie entre la valeur initiale $h_0=1$ et la valeur finale $h_f=0,5$ et , comme montré dans la Figure 1.2-1.
- Pour la modélisation B, elle est constante et égale à $h=1$ (ou 100%)

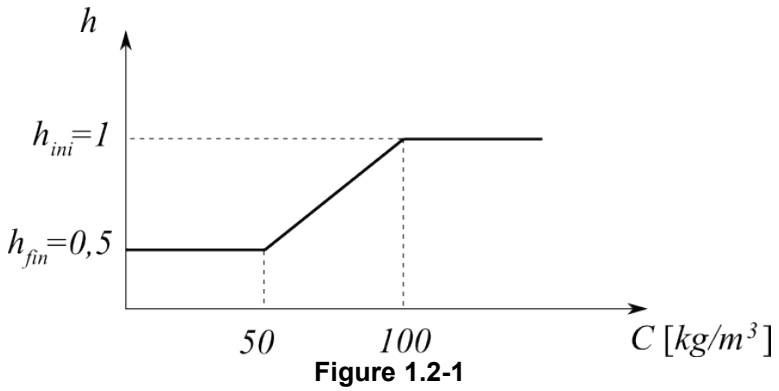


Figure 1.2-1

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

1.3 Conditions aux limites et chargements

- **Conditions aux limites en mécanique** : traction uniaxiale. La contrainte imposée (composante SIZZ) est égale à $\sigma_{zz}=\sigma_0=10\ MPa$. On maintient le chargement pendant 1 an.
- **Température** : on impose uniformément sur la structure une température constante de $T=20\,°C$, égale à la température de référence. De ce fait, le retrait thermique est nul.
- **Teneur en eau** :
  - Pour la modélisation A, cette fonction a une allure linéaire. Elle vaut $C_0=100$ au temps initial $t_0=0$ et $C_f=50$ au temps final $t_f=365$ jours.
  - Pour la modélisation B, elle est constante et égale à $h=h_0=1\ (\text{ou } 100\%)$

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

Il s'agit d'un test $1\mathrm{D}$. La contrainte uniaxiale vaut : $\sigma=\sigma_0\cdot H(t_0)$ où t_0 est l'instant de chargement. La fonction de Heavyside $H(t_0)$ permet d'appliquer le chargement σ_0 instantanément.

On définit la contrainte équivalente $S(t)=h(t)\cdot\sigma(t)$. On a : $S_0=S(t_0)=\sigma_0\cdot h_0$.
On peut expliciter le saut initial de contrainte en écrivant la déformation de fluage de la manière suivante :

$$\varepsilon^{fl}(t)=S_0\,J(t,t_0)+\int_{\tau=t_0}^{\tau=t} J(t,\tau)\,\dot{S}\,\mathrm{d}\tau$$

2.1.1 Modélisation A

Dans la modélisation A, on a :

- Pour $t>t_0^+$ on a : $S(t)=\sigma_0\left(h_0+(h_f-h_0)\dfrac{t-t_0}{t_f-t_0}\right)$ donc : $\dot{S}=\sigma_0\dfrac{h_f-h_0}{t_f-t_0}$
- $J(t,\tau)=\sum_{s=1}^{8} J_s\cdot\left(1-\exp\left[-\dfrac{t-\tau}{\tau_s}\right]\right)$

$$\varepsilon^{fl}(t)=\sigma_0 h_0 J(t,t_0)+\int_{\tau=t_0}^{\tau=t} J(t,\tau)\,\sigma_0\frac{h_f-h_0}{t_f-t_0}\,\mathrm{d}\tau$$

En remplaçant $J(t,\tau)$ on a :

$$\varepsilon^{fl}(t)=\sigma_0 h_0 J(t,t_0)+\sigma_0\frac{h_f-h_0}{t_f-t_0}\sum_{s=1}^{8} J_s\int_{\tau=t_0}^{\tau=t}\left(1-\exp\left[-\frac{t-\tau}{\tau_s}\right]\right)\mathrm{d}\tau$$

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

On obtient :

$$\varepsilon^{fl}(t) = \sigma_0 h_0 \sum_{s=1}^{8} J_s \left(1-\exp\left[-\frac{t-t_0}{\tau_s}\right]\right)$$
$$-\sigma_0 \frac{h_f-h_0}{t_f-t_0} \sum_{s=1}^{8} \tau_s J_s \left(1-\exp\left[-\frac{t-t_0}{\tau_s}\right]\right) + \sigma_0 \frac{h_f-h_0}{t_f-t_0} \left(\sum_{s=1}^{8} J_s\right)(t-t_0)$$

La déformation totale se calcule comme la somme de la déformation de fluage et de la déformation élastique :

$$\varepsilon(t)=\varepsilon^{e}(t)+\varepsilon^{fl}(t)=\frac{\sigma_0}{E}+\varepsilon^{fl}(t)$$

2.1.2 Modélisation B

Dans la modélisation B, on a :

- Pour $t>t_0^+$ on a : $S(t)=\sigma_0 h_0=constante$ donc : $\dot{S}=0$
- $J(t,\tau)=k(\tau)\sum_{s=1}^{8} J_s \cdot \left(1-\exp\left[-\frac{t-\tau}{\tau_s}\right]\right)$

On a donc :

$$\varepsilon^{fl}(t)=\sigma_0 h_0 \sum_{s=1}^{8} k(t_0) J_s \cdot \left(1-\exp\left[-\frac{t-t_0}{\tau_s}\right]\right)$$

La déformation totale vaut :

$$\varepsilon(t)=\varepsilon^{e}(t)+\varepsilon^{fl}(t)=\frac{\sigma_0}{E}+\varepsilon^{fl}(t)$$

2.2 Résultats de référence

On s'intéressera aux valeurs des déformations à 365 jours.

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'un test sur le point matériel.
L'humidité relative varie de manière linéaire sur l'intervalle de temps considéré dans l'étude : $h_0=1$ au temps initial $t_0=0$ et $h_f=50$ au temps final $t_f=365$ jours.
Il n'y a pas de vieillissement.

3.2 Caractéristiques du maillage

Néant

3.3 Grandeurs testées et résultats

On teste la valeur de la déformation longitudinale (dans la direction du chargement) ε_{zz}^{fl} à 365 jours.

Variables	Instant	Référence
ε_{zz}^{fl}	31536000.0 sec (365 jours)	0.0005328650

Tableau 3.3-1

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

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Il s'agit d'un test sur le point matériel.
L'humidité relative est constante sur l'intervalle de temps considéré dans l'étude : $h_0=1$.
L'instant initiale du calcul est $t_0=0$, l'instant final est $t_f=365$ jours.
On prend en compte le vieillissement. Le matériau est chargé à trois âges différents : 2, 10 et 28 jours.
Afin de modifier l'âge de chargement, on initialise la variable interne correspondante (V55) dans ETAT_INIT de STAT_NON_LINE.

4.2 Caractéristiques du maillage

Néant

4.3 Grandeurs testées et résultats

On teste les valeurs de la déformation longitudinale ε_{zz}^{fl} aux numéros d'ordre correspondant à 365 jours.

Age au chargement	Variable testé	Instant	Référence
2	ε_{zz}^{fl}	365 jours	0.0008647473
10	ε_{zz}^{fl}	365 jours	0.0007271718
28	ε_{zz}^{fl}	365 jours	0.0006574566

Tableau 4.3-1

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

5 Synthèse des résultats

Les résultats obtenus avec *Code_Aster* sont proches de ceux de la solution de référence (écarts $<10^{-4}\%$)

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