SSNV180 - Prise en compte de la dilatation thermique et du fluage de dessiccation dans les modèles BETON_UMLV_FP et BETON_BURGER_FP

Résumé :

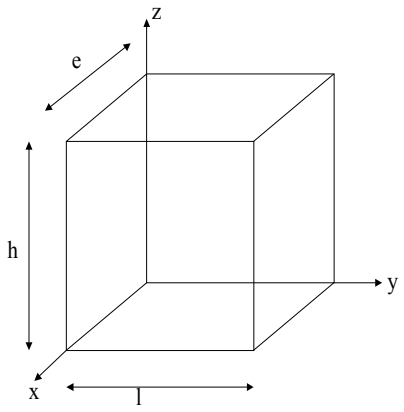
Ce test permet de valider la prise en compte de la dilatation thermique et du fluage de dessiccation dans les lois de comportement BETON_UMLV_FP et BETON_BURGER_FP. Les résultats de ce test sont comparés avec une solution numérique obtenue avec Scilab 2.7.2. dans le cas d'une modélisation 3D (BETON_UMLV_FP) et une solution numérique obtenue avec python pour BETON_BURGER_FP (SSNV180B.44).

Modélisation A : Essai de fluage avec dilatation thermique pour le modèle BETON_UMLV_FP
Modélisation B : Essai de fluage avec dilatation thermique pour le modèle BETON_BURGER_FP

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1 Problème de référence

1.1 Géométrie



Hauteur : $h=1,00[m]$
Largeur : $l=1,00[m]$
Épaisseur : $e=1,00[m]$

1.2 Propriétés du matériau

$E=31\ [GPa]$	module d'élasticité
$\nu=0,2$	coefficient de Poisson
$k_{re}=60\ [\mu m/m]$	coefficient de retrait endogène
$k_{rd}=10\ [\mu m/m.m^3/l]$	coefficient de retrait de dessiccation
$\alpha=10\ [\mu m/m/°C]$	coefficient de dilatation thermique

Ici on renseigne aussi la courbe sorption-désorption qui relie la teneur en eau C à l'hygrométrie h. Dans ce cas on a supposé que les deux quantités étaient reliées par la relation linéaire suivante : C [l/m^3] = h [%].

Paramètres spécifiques au fluage de dessiccation :

$\eta_{fd}=5.30E+4\ [MPa.s]$

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Paramètres spécifiques à BETON_UMLV_FP :

$k_r^s = 1{,}20E+5 \ [MPa]$	partie sphérique : rigidité apparente associée au squelette formé par des blocs d'hydrates à l'échelle mésoscopique
$k_i^s = 6{,}22E+4 \ [MPa]$	partie sphérique : rigidité apparente associée intrinsèquement aux hydrates à l'échelle microscopique
$k_r^d = 3{,}86E+4 \ [MPa]$	partie déviatorique : rigidité associée à la capacité de l'eau adsorbée à transmettre des charges (*load bearing water*)
$\eta_r^s = 2{,}21E+10 \ [MPa.s]$	partie sphérique :viscosité apparente associée au mécanisme de diffusion au sein de la porosité capillaire
$\eta_i^s = 4{,}16E+10 \ [MPa.s]$	partie sphérique : viscosité apparente associée au mécanisme de diffusion interlamellaire
$\eta_r^d = 6{,}19E+10 \ [MPa.s]$	partie déviatorique :viscosité associée à l'eau adsorbée par les feuillets d'hydrates
$\eta_i^d = 1{,}64E+12 \ [MPa.s]$	partie déviatorique : viscosité de l'eau libre.

Paramètres spécifiques à BETON_BURGER_FP :

$k_r^s = 1{,}20E+5 \ [MPa]$	partie sphérique : rigidité apparente associée au domaine réversible des déformations différées
$k_r^d = 3{,}86E+4 \ [MPa]$	partie déviatorique : rigidité associée associée au domaine réversible des déformations différées
$\eta_r^s = 2{,}21E+10 \ [MPa.s]$	partie sphérique :viscosité apparente associée au domaine réversible des déformations différées
$\eta_i^s = 4{,}16E+10 \ [MPa.s]$	partie sphérique : viscosité apparente associée au mécanisme de diffusion irréversible
$\eta_r^d = 6{,}19E+10 \ [MPa.s]$	partie déviatorique :viscosité associée au domaine réversible des déformations différées
$\eta_i^d = 1{,}64E+12 \ [MPa.s]$	partie déviatorique : viscosité apparente associée au mécanisme de diffusion irréversible
$\kappa = 3.0\times10^{-3}$	Norme des déformations irréversibles contrôlant la non linéarité appliquée sur le module des déformations à long terme

1.3 Conditions aux limites et chargements

Dans cet essai, on crée un champ de séchage homogène dans la structure variant linéairement sur une durée de 750 jours, l'humidité initiale vaut 100% (condition d'une éprouvette scellée) et décroît progressivement jusqu'à 50% au 750ème jour.

Le degré d'hydratation varie linéairement de 0 à 1 entre l'instant initial et le 28ème jour.

La température de référence vaut $20\,°C$. Le chargement thermique correspond à une élévation de température variant de $20\,°C$ et $40\,°C$ entre l'instant initial et l'instant final.

Le chargement mécanique correspond à une compression unidirectionnelle suivant le direction verticale (z en $3\mathrm{D}$) ; son intensité est de $12[MPa]$. La charge est appliquée en $1\mathrm{s}$ et est maintenue constante pendant 100 jours.

1.4 Conditions initiales

Le début du calcul est supposé à l'instant -1. A cet instant il n'y a ni champ de séchage, ni contrainte mécanique.

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

A l'instant 0, on applique un champ de séchage correspondant à 100% d'hygrométrie, un champ d'hydratation correspondant à un avancement nul et un champ thermique à la température de référence.

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul

On n'a pas développé la solution analytique pour ce chargement hydro-mécanique. Aussi, la solution de référence est obtenue numériquement en utilisant le logiciel Scilab 2.7.2 pour BETON_UMLV_FP ou python pour BETON_BURGER_FP. Chaque composante de déformation est calculée séparément :

les déformations de retrait endogène sont déterminées à partir de la relation :

$\varepsilon_{re} = k_{re}.\beta$ où β désigne le degré d'hydratation du matériau

les déformations de retrait de dessiccation sont déterminées à partir de la relation :

$\dot{\varepsilon}_{rd} = k_{rd}.\dot{C}$ où C désigne la teneur en eau du matériau

les déformations de dilatation thermique sont déterminées à partir de la relation :

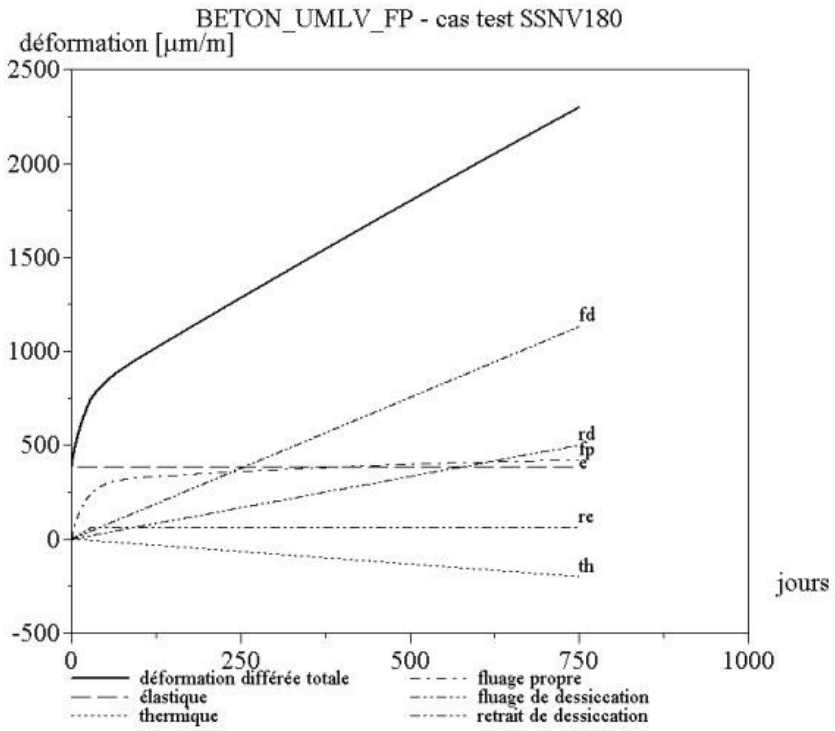
$\varepsilon_{th} = \alpha(T - T_{ref})$ où T et T_{ref} désignent respectivement la température à l'instant courant et la température de référence du matériau

les déformations de fluage propre sont calculées numériquement en utilisant une discrétisation identique à celle implantée dans le *Code_Aster* pour BETON_UMLV_FP et une implantation suivant un schéma explicite pour BETON_BURGER_FP. La discrétisation temporelle est alors nécessairement plus fine pour le schéma explicite.

les déformations de fluage de dessiccation sont calculées analytiquement à partir de la relation :

$\dot{\varepsilon}_{fd} = \frac{1}{\eta_{fd}}|\dot{h}|\sigma$ où $h = f(C)$ désigne l'humidité du matériau

Les résultats du calcul avec Scilab sont présentés dans la figure ci-dessous.



Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

2.2 Grandeurs et résultats de référence

L'essai est homogène. On teste la déformation en un nœud quelconque.

2.3 Incertitudes sur la solution

Résultat numérique obtenu avec Scilab 2.7.2 ou python (SSNV180B.44)

2.4 Références bibliographiques

[1] LE PAPE Y. : Relation de comportement UMLV pour le fluage propre du béton, Documentation de Référence de *Code_Aster*, [R7.01.06] 16 p (2002).

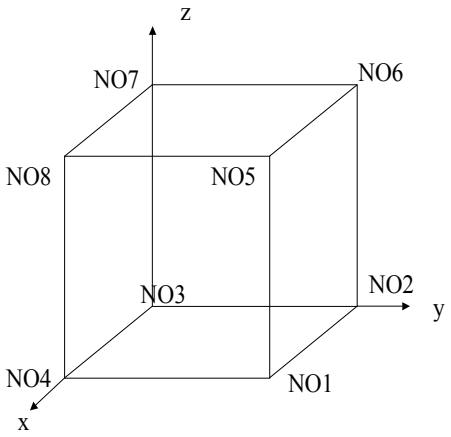
[2] FOUCAULT A.: Relation de comportement BETON_BURGER_FP pour le fluage propre du béton , Documentation de Référence de Code-Aster, [R7.01.35], 2011.

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation 3D



3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 8
Nombre de mailles : 1 de type HEXA 8
6 de type QUAD 4

On définit les mailles suivantes :

S_ARR	*NO3 NO7 NO8 NO4*
S_AVT	*NO1 NO2 NO6 NO5*
S_DRT	*NO1 NO5 NO8 NO4*
S_GCH	*NO3 NO2 NO6 NO7*
S_INF	*NO1 NO2 NO3 NO4*
S_SUP	*NO5 NO6 NO7 NO8*

Les conditions aux limites en déplacement imposées sont :

Sur les nœuds $NO1$, $NO2$, $NO3$ et $NO4$: $DZ=0$
Sur les nœuds $NO3$, $NO7$, $NO8$ et $NO4$: $DY=0$
Sur les nœuds $NO2$, $NO6$, $NO7$ et $NO8$: $DX=0$

Le chargement est constitué du même champ de séchage et de la même force nodale, $1/4$ appliquée sur les quatre nœuds de $\mathrm{S_SUP}$.

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3.3 Grandeurs testées et résultats

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
ε_{xx} au nœud $NO6$ à l'instant 64800	'SOURCE_'	-4.081E-04	0.50%
ε_{xx} au nœud $NO6$ à l'instant 648000	'ANALYTIQUE'	-5.25E-04	0.50%
ε_{xx} au nœud $NO6$ à l'instant 6480000	'ANALYTIQUE'	-9.065E-04	0.50%
ε_{xx} au nœud $NO6$ à l'instant 64800000	'ANALYTIQUE'	-2.299E-03	0.50%

On teste les déformations dues au fluage de dessiccation ainsi que les déformations liées aux variables de commandes au premier point de Gauss de la maille M_1 :

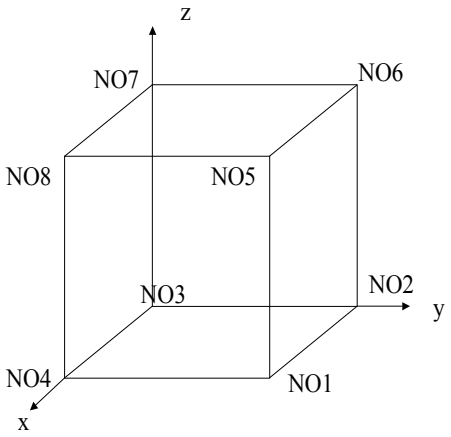
Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
EPTHER_L à l'instant 49	'NON_REGRESSION'	8.3E-6	0.10%
EPTHER_T à l'instant 49	'NON_REGRESSION'	8.3E-6	0.10%
EPTHER_T à l'instant 49	'NON_REGRESSION'	8.3E-6	0.10%
EPSECH à l'instant 49	'NON_REGRESSION'	-2.075E-5	0.10%
EPHYDR à l'instant 49	'NON_REGRESSION'	-6.0E-5	0.10%
EPXX à l'instant 49	'NON_REGRESSION'	0.	0.10%
EPYY à l'instant 49	'NON_REGRESSION'	0.	0.10%
EPZZ à l'instant 49	'NON_REGRESSION'	-4.69811E-5	0.10%

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation 3D



4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 8
Nombre de mailles : 1 de type HEXA 8
6 de type QUAD 4

On définit les mailles suivantes :

S_ARR	*NO3 NO7 NO8 NO4*
S_AVT	*NO1 NO2 NO6 NO5*
S_DRT	*NO1 NO5 NO8 NO4*
S_GCH	*NO3 NO2 NO6 NO7*
S_INF	*NO1 NO2 NO3 NO4*
S_SUP	*NO5 NO6 NO7 NO8*

Les conditions aux limites en déplacement imposées sont :

Sur les nœuds $NO1$, $NO2$, $NO3$ et $NO4$: $DZ=0$
Sur les nœuds $NO3$, $NO7$, $NO8$ et $NO4$: $DY=0$
Sur les nœuds $NO2$, $NO6$, $NO7$ et $NO8$: $DX=0$

Le chargement est constitué du même champ de séchage et de la même force nodale, $1/4$ appliquée sur les quatre nœuds de $\mathrm{S_SUP}$.

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

4.3 Grandeurs testées et résultats

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
ε_{zz} au nœud $NO6$ à l'instant 64800	'SOURCE_EXTERNE'	-4.15E-04	0.50%
ε_{zz} au nœud $NO6$ à l'instant 648000	'SOURCE_EXTERNE'	-5.82E-04	0.50%
ε_{zz} au nœud $NO6$ à l'instant 6480000	'SOURCE_EXTERNE'	-1.36E-03	0.50%
ε_{zz} au nœud $NO6$ à l'instant 64800000	'SOURCE_EXTERNE'	-4.38E-03	0.50%

On teste les déformations dues au fluage de dessiccation ainsi que les déformations liées aux variables de commandes au premier point de Gauss de la maille M_1 pour le numéro d'ordre 49 du concept résultat:

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
EPTHER_L	'ANALYTIQUE'	8.3E-6	0.10%
EPTHER_T	'ANALYTIQUE'	8.3E-6	0.10%
EPTHER_T	'ANALYTIQUE'	8.3E-6	0.10%
EPSECH	'ANALYTIQUE'	-2.075E-5	0.10%
EPHYDR	'ANALYTIQUE'	-6.0E-5	0.10%
EPXX (Fluage de dessiccation)	'ANALYTIQUE'	0.	0.10%
EPYY (Fluage de dessiccation)	'ANALYTIQUE'	0.	0.10%
EPZZ (Fluage de dessiccation)	'ANALYTIQUE'	-4.69811E-5	0.10%

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

5 Synthèse des résultats

Les valeurs obtenues avec *Code_Aster* sont en accord avec les valeurs des solution numériques de référence.

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)