

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

Résumé :

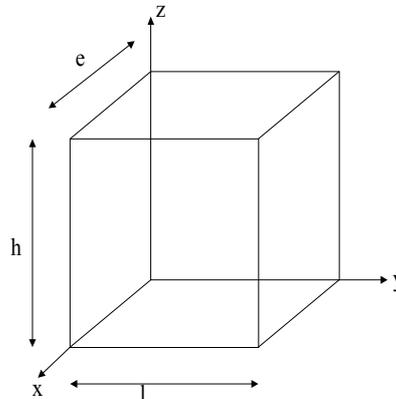
Ce test permet de valider la prise en compte de la dilatation thermique et du fluage de dessiccation dans les lois de comportement `BETON_UMLV` et `BETON_BURGER`. Les résultats de ce test sont comparés avec une solution numérique obtenue avec Scilab 2.7.2. dans le cas d'une modélisation 3D (`BETON_UMLV`)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

Modélisation A : Essai de fluage avec dilatation thermique pour le modèle `BETON_UMLV`

Modélisation B : Essai de fluage avec dilatation thermique pour le modèle `BETON_BURGER`

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
$\alpha = 10 [\mu m/m/^{\circ}C]$	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 :

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

Paramètres spécifiques à BETON_UMLV :

$k_r^s = 1,20E + 5$ [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 (<i>load bearing water</i>)
$\eta_r^s = 2,21E + 10$ [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 :

$k_r^s = 1,20E + 5$ [MPa]	partie sphérique : rigidité apparente associée au domaine réversible des déformations différées
$k_r^d = 3,86E + 4$ [MPa]	partie déviatorique : rigidité associée 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
$\kappa = 3.0 \times 10^{-3}$	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 750^{ème} jour.

Le degré d'hydratation varie linéairement de 0 à 1 entre l'instant initial et le 28^{ème} 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 3D) ; son intensité est de 12 [MPa]. La charge est appliquée en 1s 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.

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.

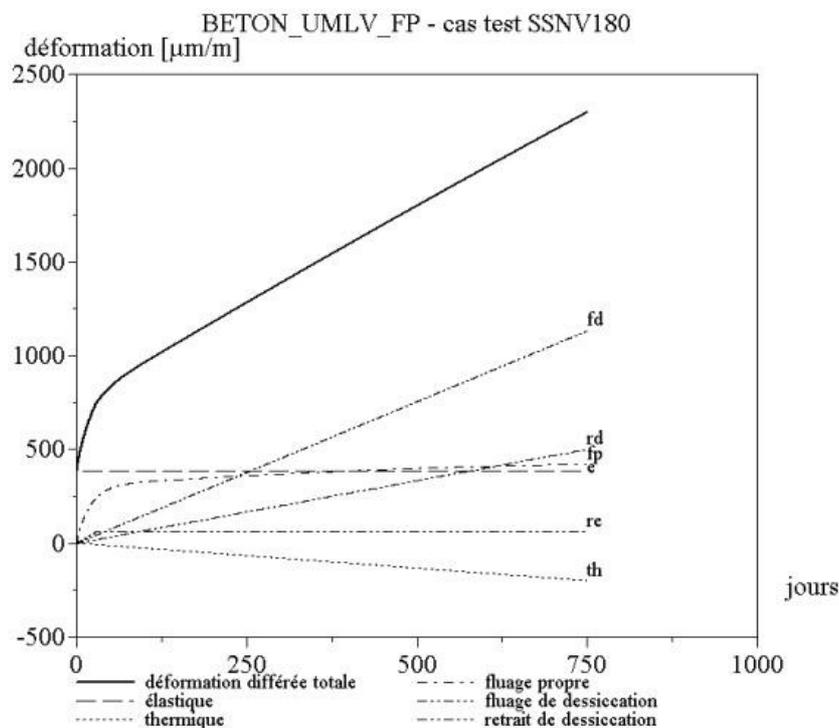
2 Solution de référence

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` ou python pour `BETON_BURGER`. Chaque composante de déformation est calculée séparément :

- les déformations de retrait endogène sont déterminées à partir de la relation :
 - $\varepsilon_{re} = k_{re} \cdot \beta$ où β désigne le degré d'hydratation du matériau
- les déformations de retrait de dessiccation sont déterminées à partir de la relation :
 - $\dot{\varepsilon}_{rd} = k_{rd} \cdot \dot{C}$ 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` et une implantation suivant un schéma explicite pour `BETON_BURGER`. 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 :
 - $\dot{\varepsilon}_{fd} = \frac{1}{\eta_{fd}} |h| \sigma$ où $h = f(C)$ désigne l'humidité du matériau

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



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)

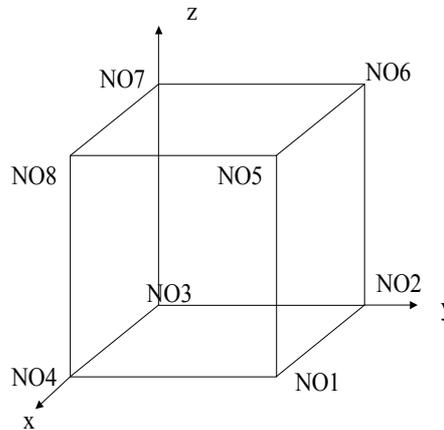
2.4 Références bibliographiques

- [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` pour le fluage propre du béton , Documentation de Référence de Code-Aster, [R7.01.35], 2011.

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 *S_SUP* .

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%
EPFP_ELNO/EPZZ Au nœud NO6 à l'instant 64800000	'ANALYTIQUE '	-4.198E-04	0,50%
EPFD_ELNO/EPZZ Au nœud NO6 à l'instant 64800000	'ANALYTIQUE '	-1.132E-3	0,50%
EPVC_ELNO/EPHER_L Au nœud NO1 à l'instant 64800000	'NON_DEFINI '	2.0E-4	0,50%
EPVD_ELNO/EPHER_L Au nœud NO1 à l'instant 64800000	'NON_DEFINI '	-1.13208E-3	0,50%
EPVC_ELNO/EPHER_L Au nœud NO1 à l'instant 64800000	'NON_DEFINI '	-4.1839E-4	0,50%

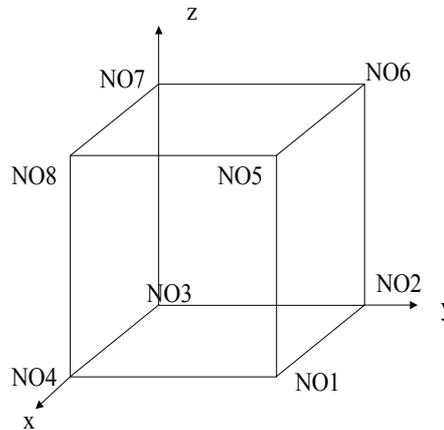
On teste les déformations dues au fluage de dessiccation ainsi que les déformations liées aux variables de commandes au premier point de Gauss de la maille M_1 :

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
EPHER_L à l'instant 49	'NON_REGRESSION '	8.3E-6	0,10%
EPHER_T à l'instant 49	'NON_REGRESSION '	8.3E-6	0,10%
EPHER_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%

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 S_SUP .

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	0,30%
ε_{zz} au nœud NO6 à l'instant 648000	'SOURCE_EXTERNE'	-5.82E-04	0,30%
ε_{zz} au nœud NO6 à l'instant 6480000	'SOURCE_EXTERNE'	-1.36E-03	0,20%
ε_{zz} au nœud NO6 à l'instant 64800000	'SOURCE_EXTERNE'	-4.38E-03	0,20%
EPVC_ELNO/EP THER_L Au nœud NO6 à l'instant 64800000	'ANALYTIQUE'	2.0E-4	1E-6
EPVC_ELNO/EP THER_N Au nœud NO6 à l'instant 64800000	'ANALYTIQUE'	2.0E-4	1E-6
EPVC_ELNO/EP THER_T Au nœud NO6 à l'instant 64800000	'ANALYTIQUE'	2.0E-4	1E-6
EPVC_ELNO/EPSECH Au nœud NO6 à l'instant 64800000	'ANALYTIQUE'	-5.0E-4	1E-6
EPVC_ELNO/EPHYDR Au nœud NO6 à l'instant 64800000	'ANALYTIQUE'	-6.0E-5	1E-6
EPVP_ELNO/EPZZ Au nœud NO6 à l'instant 64800000	'SOURCE_EXTERNE'	2.5E-3	4E-3
EPVD_ELNO/EPZZ Au nœud NO6 à l'instant 64800000	'SOURCE_EXTERNE'	-1.132E-3	1E-3
EPVC_NOEU/EP THER_L Au nœud NO1 à l'instant 64800000	'ANALYTIQUE'	2.0E-4	1E-6
EPVD_NOEU/EP THER_L Au nœud NO1 à l'instant 64800000	'ANALYTIQUE'	-1.132E-3	1E-6
EPVP_NOEU/EPZZ Au nœud NO1 à l'instant 64800000	'ANALYTIQUE'	-2.5024E-3	1E-6

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
EP THER_L	'ANALYTIQUE'	8.3E-6	0,0001%
EP THER_T	'ANALYTIQUE'	8.3E-6	0,0001%
EP THER_T	'ANALYTIQUE'	8.3E-6	0,0001%
EPSECH	'ANALYTIQUE'	-2.075E-5	0,0001%
EPHYDR	'ANALYTIQUE'	-6.0E-5	0,0001%

EPXX (Fluage de dessiccation)	'ANALYTIQUE'	0.	0,0001%
EPYY (Fluage de dessiccation)	'ANALYTIQUE'	0.	0,0001%
EPZZ (Fluage de dessiccation)	'ANALYTIQUE'	-4.69811E-5	0,10%

5 Synthèse des résultats

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