

## SSNV180 - Prise en compte de la dilatation thermique et du fluage de dessiccation dans les modèles BETON\_UMLV et BETON\_BURGER

---

### Résumé :

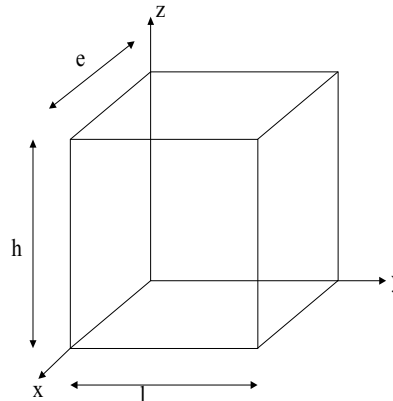
Ce test permet de valider la prise en compte de la dilatation thermique et du fluage de dessiccation dans les lois de comportement `BETON_UMLV` et `BETON_BURGER`. Les résultats de ce test sont comparés avec une solution numérique obtenue avec Scilab 2.7.2. dans le cas d'une modélisation 3D (`BETON_UMLV`)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

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

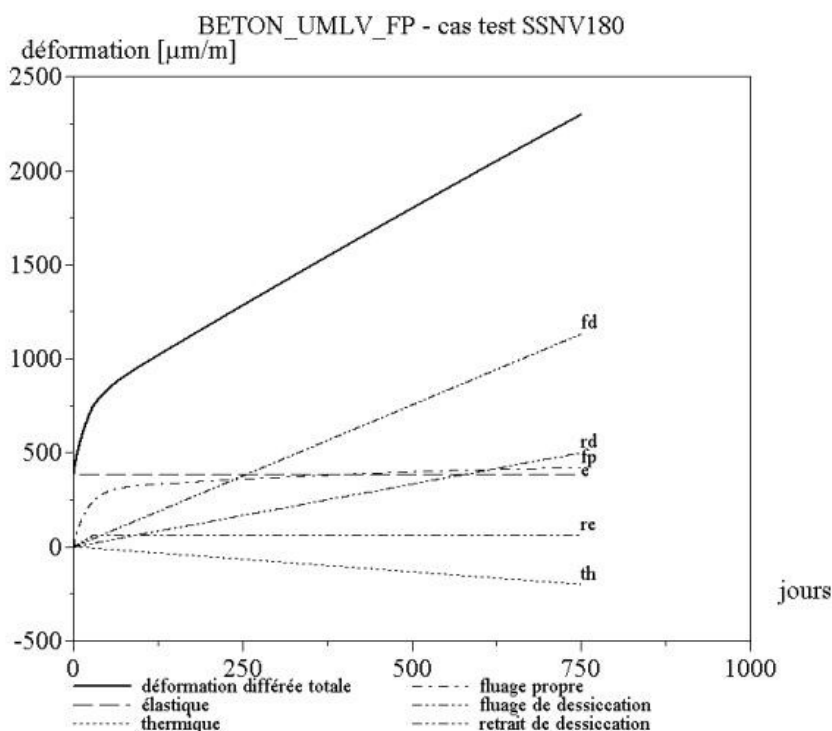
## 2 Solution de référence

### 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  $\beta$  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)

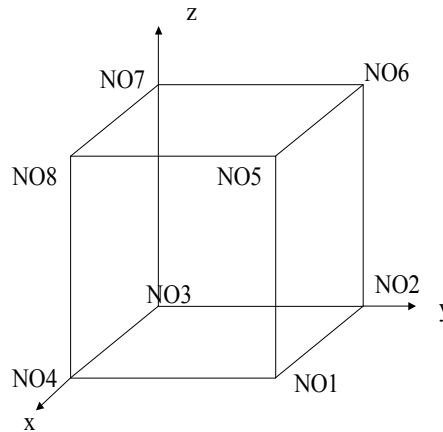
## 2.4 Références bibliographiques

- [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
$\varepsilon_{xx}$ au nœud NO6 à l'instant 64800	'SOURCE_ '	-4.081E-04	0,50%
$\varepsilon_{xx}$ au nœud NO6 à l'instant 648000	'ANALYTIQUE '	-5.25E-04	0,50%
$\varepsilon_{xx}$ au nœud NO6 à l'instant 6480000	'ANALYTIQUE '	-9.065E-04	0,50%
$\varepsilon_{xx}$ 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/EP THER_L Au nœud NO1 à l'instant 64800000	'NON_DEFINI '	2.0E-4	0,50%
EPVD_ELNO/EP THER_L Au nœud NO1 à l'instant 64800000	'NON_DEFINI '	-1.13208E-3	0,50%
EPVC_ELNO/EP THER_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  $M_1$  :

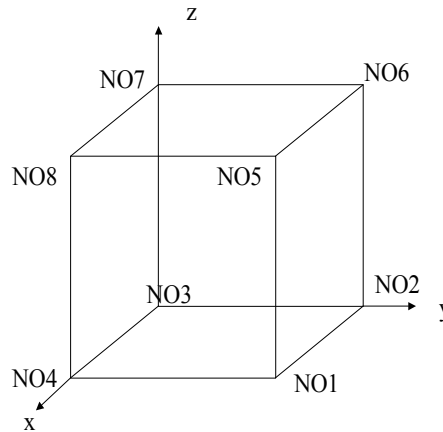
Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
EP THER_L à l'instant 49	'NON_REGRESSION '	8.3E-6	0,10%
EP THER_T à l'instant 49	'NON_REGRESSION '	8.3E-6	0,10%
EP THER_T à l'instant 49	'NON_REGRESSION '	8.3E-6	0,10%
EPSECH à l'instant 49	'NON_REGRESSION '	-2.075E-5	0,10%
EPHYDR à l'instant 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
$\varepsilon_{zz}$ au nœud NO6 à l'instant 64800	'SOURCE_EXTERNE'	-4.15E-04	0,30%
$\varepsilon_{zz}$ au nœud NO6 à l'instant 648000	'SOURCE_EXTERNE'	-5.82E-04	0,30%
$\varepsilon_{zz}$ au nœud NO6 à l'instant 6480000	'SOURCE_EXTERNE'	-1.36E-03	0,20%
$\varepsilon_{zz}$ 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/EP SECH Au nœud NO6 à l'instant 64800000	'ANALYTIQUE'	-5.0E-4	1E-6
EPVC_ELNO/EP HYDR Au nœud NO6 à l'instant 64800000	'ANALYTIQUE'	-6.0E-5	1E-6
EPVP_ELNO/EP ZZ Au nœud NO6 à l'instant 64800000	'SOURCE_EXTERNE'	2.5E-3	4E-3
EPVD_ELNO/EP ZZ 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/EP ZZ 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%
EP SECH	'ANALYTIQUE'	-2.075E-5	0,0001%
EP HYDR	'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.