SSNV163 - Calcul de fluage propre avec les modèles BETON_UMLV et BETON_BURGER

Résumé :

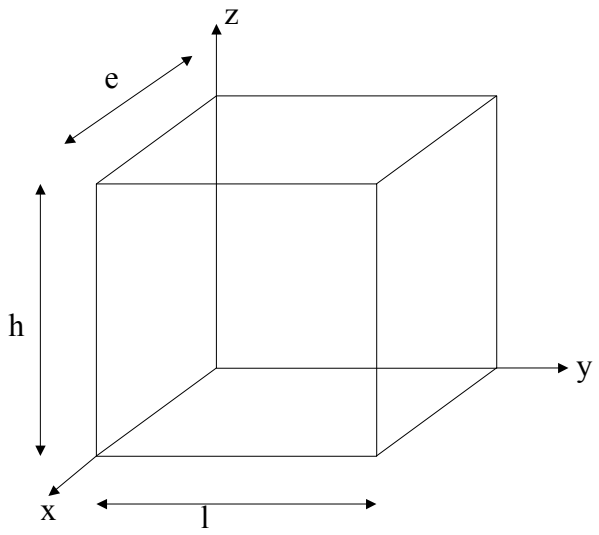
Ce test permet de valider les modèles de fluage propre BETON_UMLV et BETON_BURGER. Les résultats de ce test sont comparés avec les solutions analytique (BETON_UMLV) ou obtenue suivant un schéma d'intégration explicite (BETON_BURGER) pour trois types de modélisations : 3D , axisymétrique et contraintes planes.

Modélisation A : Essai de fluage propre avec le modèle BETON_UMLV et une modélisation 3D.
Modélisation B : Essai de fluage propre avec le modèle BETON_UMLV et une modélisation AXIS.
Modélisation C : Essai de fluage propre avec le modèle BETON_UMLV et une modélisation C_PLAN.
Modélisation D : Essai de fluage propre avec le modèle BETON_BURGER et une modélisation 3D.
Modélisation E : Essai de fluage propre avec le modèle BETON_BURGER et une modélisation AXIS.
Modélisation F : Essai de fluage propre avec le modèle BETON_BURGER et une modélisation C_PLAN.

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

$E=31GPa$
$\nu=0.2$

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 valeurs numériques de C et de h sont les mêmes.

Paramètres spécifiques au fluage propre de BETON_UMLV :

$k_r^s=2,0E+5$ [MPa]	partie sphérique : rigidité apparente associée au squelette formé par des blocs d'hydrates à l'échelle mésoscopique
$k_i^s=5,0E+4$ [MPa]	partie sphérique : rigidité apparente associée intrinsèquement aux hydrates à l'échelle microscopique
$k_r^d=5,0E+4$ [MPa]	partie déviatorique : rigidité associée à la capacité de l'eau adsorbée à transmettre des charges (*load bearing water*)
$\eta_r^s=4,0E+10$ [$MPa.s$]	partie sphérique :viscosité apparente associée au mécanisme de diffusion au sein de la porosité capillaire
$\eta_i^s=1,0E+11$ [$MPa.s$]	partie sphérique : viscosité apparente associée au mécanisme de diffusion interlamellaire
$\eta_r^d=1,0E+10$ [$MPa.s$]	partie déviatorique :viscosité associée à l'eau adsorbée par les feuillets d'hydrates

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

$\eta_i^d = 1{,}0E+11$ [$MPa.s$] partie déviatorique : viscosité de l'eau libre.

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

Paramètres spécifiques au fluage propre de BETON_BURGER :

$k_r^s = 2{,}0E+5$ [MPa]	partie sphérique : rigidité apparente associée au domaine réversible des déformations différées
$k_r^d = 5{,}0E+4$ [MPa]	partie déviatorique : rigidité associée associée au domaine réversible des déformations différées
$\eta_r^s = 4{,}0E+10$ [$MPa.s$]	partie sphérique :viscosité apparente associée au domaine réversible des déformations différées
$\eta_i^s = 1{,}0E+11$ [$MPa.s$]	partie sphérique : viscosité apparente associée au mécanisme de diffusion irréversible
$\eta_r^d = 1{,}0E+10$ [$MPa.s$]	partie déviatorique :viscosité associée au domaine réversible des déformations différées
$\eta_i^d = 1{,}0E+11$ [$MPa.s$]	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 invariant dans la structure, l'humidité vaut 100% (condition d'une éprouvette scellée). Le chargement mécanique correspond à une compression unidirectionnelle suivant le direction verticale (z en $3\mathrm{D}$ ou y en $2\mathrm{D}$) ; son intensité est de $1[MPa]$. 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 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.

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

2 Solution de référence

2.1 Solutions obtenues pour le modèle BETON_UMLV

2.1.1 Méthode de calcul

Cette section présente la résolution analytique complète du problème d'un corps d'épreuve soumis à un champ de contraintes homogènes et unidirectionnelles appliquées instantanément à l'instant initial et maintenues constantes par la suite (cas d'un essai de fluage en compression simple) :

$$\boldsymbol{\sigma}=\sigma_0 \boldsymbol{e}_z\otimes\boldsymbol{e}_z \tag{1}$$

Dont la décomposition en partie sphérique et déviatorique s'écrit :

$$\boldsymbol{\sigma}= \underbrace{\frac{1}{3}\sigma_0 \boldsymbol{I}}_{\text{partie sphérique}} + \underbrace{\frac{2}{3}\sigma_0 \boldsymbol{e_z}\otimes\boldsymbol{e_z}-\frac{1}{3}\sigma_0\left(\boldsymbol{e}_x\otimes\boldsymbol{e}_x+\boldsymbol{e}_y\otimes\boldsymbol{e}_y\right)}_{\text{partie déviatorique}} \tag{2}$$

En opérant une décomposition sphérique/déviatorique identique à celle des contraintes, la déformation axiale s'écrit sous la forme :

$$\varepsilon_{zz}=\varepsilon^{fs}\left(\frac{\sigma_0}{3}\right)+\varepsilon^{fd}\left(\frac{2\sigma_0}{3}\right) \tag{3}$$

Il faut donc résoudre successivement la réponse à un échelon de contrainte sphérique et à un échelon de contraintes déviatoriques.

2.1.2 Résolution des équations constitutives du fluage sphérique [bib2]

Le processus de déformation sphérique du fluage est gouverné par le système d'équations couplées suivant (équations (4) et (5), cf. [R7.01.06]) :

$$\dot{\varepsilon}^{fs}=\frac{1}{\eta_r^s}\left(h\sigma^s-k_r^s\varepsilon_r^{fs}\right)-\dot{\varepsilon}_i^{fs} \tag{4}$$

où k_r^s désigne la rigidité apparente associée au squelette formé par des blocs d'hydrates à l'échelle mésoscopique et η_r^s la viscosité apparente associée au mécanisme de diffusion au sein de la porosité capillaire.

$$\dot{\varepsilon}_i^{fs}=\frac{1}{\eta_r^s}\left\langle\left[k_r^s\varepsilon^{fs}-\left(k_r^s+k_i^s\right)\varepsilon_i^{fs}\right]-\left[h\sigma^s-k_r^s\varepsilon_r^{fs}\right]\right\rangle^+ \tag{5}$$

où k_i^s désigne la rigidité apparente associée intrinsèquement aux hydrates à l'échelle microscopique et η_i^s la viscosité apparente associée au mécanisme de diffusion interfoliaire. Dans (5), les crochets $\langle\rangle^+$ désignent l'opérateur de Mac Cauley : $\langle x\rangle^+=\frac{1}{2}\left(x+|x|\right)$

La résolution du système d'équations couplées précédent nécessite de distinguer deux cas selon le signe de la quantité comprise entre les crochets de Mac Cauley. Dans la suite, on présente la résolution analytique de la réponse à un échelon de contrainte σ^s. L'humidité relative est supposée invariante ; le milieu est saturé en eau.

2.1.2.1 Cas du fluage à court terme

A l'instant initial, $t=0$, on applique une contrainte sphérique σ^s positive. Les déformations de fluage réversibles et irréversibles sont égales à zéro (conditions initiales). L'équation du système (5) s'écrit donc :

$$\dot{\varepsilon}_i^{fs}(t=0)=\frac{1}{\eta_i^s}\langle 2k_r^s 0-k_i^s 0-\sigma^s\rangle^+=\frac{1}{\eta_i^s}\langle-\sigma^s\rangle^+=0 \tag{6}$$

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

La vitesse de déformation de fluage irréversible est donc égale à zéro. On en déduit que la déformation de fluage irréversible est aussi égale à zéro. La vitesse de déformation irréversible reste égale à zéro jusqu'à l'instant $t=t_0$, défini par la relation (7) :

$$2k_r^s\varepsilon_r^{fs}(t_0)-\sigma^s=0\Rightarrow\varepsilon_r^{fs}(t_0)=\frac{\sigma^s}{2k_r^s} \tag{7}$$

Jusqu'à l'instant $t=t_0$, la déformation de fluage réversible est définie par la relation suivante :

$$\dot{\varepsilon}_r^s=\frac{1}{\eta_r^s}\left(\sigma^s-k_r^s\varepsilon_r^s\right)\Rightarrow\varepsilon_r^s(t)=\frac{\sigma^s}{k_r^s}\left[1-\exp\left(-\frac{t}{\tau_r^s}\right)\right] \tag{8}$$

La quantité $\tau_r^s=\frac{\eta_r^s}{k_r^s}$ est le temps caractéristique associé à la déformation de fluage réversible. L'instant t_0 est donc défini par la relation (9) :

$$\varepsilon_r^{fs}=\frac{\sigma^s}{2k_r^s}=\frac{\sigma^s}{k_r^s}\left[1-\exp\left(-\frac{t_0}{\tau_r^s}\right)\right]\Rightarrow t_0=\ln(2)\,\tau_r^s\approx 0.69\,\tau_r^s \tag{9}$$

Les déformations de fluage réversibles et irréversibles sont donc déterminées par :

$$\begin{cases}\varepsilon_r^{fs}(t)=\dfrac{\sigma^s}{k_r^s}\left[1-\exp\left(-\dfrac{t}{\tau_r^s}\right)\right]\\ \varepsilon_i^{fs}(t)=0\end{cases} \tag{10}$$

Lors du calcul des déformations de fluage pour $t>t_0$, les nouvelles conditions initiales sont donc :

$$\begin{cases}\varepsilon_r^{fs}(t_0)=\dfrac{\sigma^s}{2k_r^s}\\ \varepsilon_i^{fs}(t_0)=0\end{cases} \tag{11}$$

2.1.2.2 Cas du fluage à long terme

En exprimant les vitesses de déformations de fluage réversibles et irréversibles en fonction des déformations de fluage, on obtient alors la relation :

$$\begin{cases}\dot{\varepsilon}_r^{fs}=\left(-\dfrac{k_r^s}{\eta_r^s}-4\dfrac{k_r^s}{\eta_i^s}\right)\varepsilon_r^{fs}+\left(2\dfrac{k_i^s}{\eta_i^s}\right)\varepsilon_i^{fs}+\left(\dfrac{1}{\eta_r^s}+\dfrac{2}{\eta_i^s}\right)\sigma^s\\ \dot{\varepsilon}_i^{fs}=\left(2\dfrac{k_r^s}{\eta_i^s}\right)\varepsilon_r^{fs}+\left(-\dfrac{k_i^s}{\eta_i^s}\right)\varepsilon_i^{fs}+\left(-\dfrac{1}{\eta_i^s}\right)\sigma^s\end{cases} \tag{12}$$

Afin de simplifier les calculs, on définit les variables intermédiaires suivantes :

$$u_{rr}\equiv\frac{k_r^s}{\eta_r^s}=\frac{1}{\tau_r^s}\ ;\ u_{ii}\equiv\frac{k_i^s}{\eta_i^s}=\frac{1}{\tau_i^s}\ ;\ u_{ri}\equiv\frac{k_r^s}{\eta_i^s} \tag{13}$$

Le système d'équations (12) peut se mettre alors sous la forme matricielle suivante :

$$\dot{\boldsymbol{\varepsilon}}^{fs}=\begin{Bmatrix}\dot{\varepsilon}_r^{fs}\\ \dot{\varepsilon}_i^{fs}\end{Bmatrix}=\begin{bmatrix}-u_{rr}-4u_{ri} & 2u_{ii}\\ 2u_{ri} & -u_{ii}\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}\varepsilon_r^{fs}\\ \varepsilon_i^{fs}\end{Bmatrix}+\frac{\sigma^s}{k_r^s}\begin{Bmatrix}u_{rr}+2u_{ri}\\ -u_{ri}\end{Bmatrix} \tag{14}$$

C'est-à-dire :

$$\dot{\boldsymbol{\varepsilon}}^{fs}=\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{\varepsilon}^{fs}+\sigma^s\,\boldsymbol{B} \tag{15}$$

Supposons que la matrice $\boldsymbol{A}$ soit *diagonalisable* (cette propriété sera vérifiée par la suite) :

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

$$\boldsymbol{A}=\boldsymbol{P}\,\boldsymbol{D}\,\boldsymbol{P}^{-1} \tag{16}$$

Où $\boldsymbol{D}$ désigne la matrice diagonale des valeurs propres de la matrice $\boldsymbol{A}$, $\boldsymbol{P}$ la matrice des vecteurs propres de la matrice $\boldsymbol{A}$ et $\boldsymbol{P}^{-1}$ la matrice inverse de la matrice $\boldsymbol{P}$. En effectuant terme à terme le produit par la quantité $\boldsymbol{P}^{-1}$, la relation (15) peut se mettre sous la forme :

$$\dot{\boldsymbol{\varepsilon}}^{fs,*}=\boldsymbol{D}\times\boldsymbol{\varepsilon}^{fs,*}+\sigma^{s}\boldsymbol{B}^{*} \text{ avec } \boldsymbol{\varepsilon}^{fs,*}=\boldsymbol{P}^{-1}\times\boldsymbol{\varepsilon}^{fs} \text{ et } \boldsymbol{B}^{*}=\boldsymbol{P}^{-1}\times\boldsymbol{B} \tag{17}$$

Soit λ_1 et λ_2 les valeurs propres de la matrice $\boldsymbol{A}$. On définit les quantités :

$$\boldsymbol{\varepsilon}^{fs,*}\equiv\begin{Bmatrix}\varepsilon_1^{*}\\ \varepsilon_2^{*}\end{Bmatrix} \text{ et } \boldsymbol{B}^{*}=\begin{Bmatrix}b_1^{*}\\ b_2^{*}\end{Bmatrix} \tag{18}$$

La relation (17) s'écrit alors :

$$\begin{cases}\dot{\varepsilon}_1^{*}(t)=\lambda_1\varepsilon_1^{*}+\sigma^{s}b_1^{*}\\ \dot{\varepsilon}_2^{*}(t)=\lambda_2\varepsilon_2^{*}+\sigma^{s}b_2^{*}\end{cases} \tag{19}$$

Système dont la solution s'écrit :

$$\begin{cases}\varepsilon_1^{*}(t)=-\dfrac{\sigma^{s}}{\lambda_1}b_1^{*}+\mu_1\exp\left(\lambda_1 t\right)\\ \varepsilon_2^{*}(t)=-\dfrac{\sigma^{s}}{\lambda_2}b_2^{*}+\mu_2\exp\left(\lambda_2 t\right)\end{cases} \text{ avec } \lambda_1\neq 0 \text{ et } \lambda_2\neq 0 \tag{20}$$

On peut alors revenir à l'espace initial, par le biais de la matrice de passage ; les déformations de fluage réversibles et irréversibles sont des combinaisons linéaires de ε_1^{*} et ε_2^{*}. Les valeurs propres de la matrice $\boldsymbol{A}$, sont obtenues en résolvant :

$$det\left(\boldsymbol{A}-\lambda_i\boldsymbol{I}\right)=0 \tag{21}$$

Soit encore :

$$\begin{vmatrix}-u_{rr}-4u_{ri}-\lambda_i & 2u_{ii}\\ 2u_{ri} & -u_{ii}-\lambda_i\end{vmatrix}=0\Leftrightarrow\lambda_i^{2}+\left(u_{rr}+4u_{ri}+u_{ii}\right)\lambda_i+u_{rr}u_{ii}=0 \tag{22}$$

En remarquant que u_{rr}, u_{ri} et u_{ii} sont strictement positifs, le discriminant est donc toujours strictement positif. Les valeurs propres sont donc réelles et distinctes, la matrice $\boldsymbol{A}$ est donc *diagonalisable*. Par ailleurs, aucune des deux valeurs propres n'est égale à zéro ($\lambda_1\lambda_2=u_{rr}u_{ii}\neq 0$). Les deux valeurs propres sont définies par :

$$\begin{cases}\lambda_1=\dfrac{-\left(u_{rr}+4u_{ri}+u_{ii}\right)-\sqrt{\Delta}}{2}\\ \lambda_2=\dfrac{-\left(u_{rr}+4u_{ri}+u_{ii}\right)+\sqrt{\Delta}}{2}\end{cases} \tag{23}$$

On peut montrer que les deux valeurs propres sont effectivement négatives. Montrons que la deuxième valeur propre est négative. La déformation de fluage sphérique est donc asymptotique, hypothèse émise dans le modèle de fluage propre sphérique [bib1]. Déterminons maintenant une base des vecteurs propres $\left(\boldsymbol{X}_1,\boldsymbol{X}_2\right)$ associés aux valeurs propres λ_1 et λ_2. Elle se détermine en résolvant l'équation $\left(\boldsymbol{A}-\lambda_i\boldsymbol{I}\right)\boldsymbol{X}_i=\boldsymbol{0}$. Une base particulière de vecteurs propres s'écrit :

$$\boldsymbol{X}_1=\begin{Bmatrix}x_1\\ 1\end{Bmatrix} \text{ et } \boldsymbol{X}_2=\begin{Bmatrix}1\\ x_2\end{Bmatrix} \text{ avec } x_1=\frac{\lambda_1+u_{ii}}{2u_{ri}} \text{ et } x_2=\frac{2u_{ri}}{\lambda_2+u_{ii}} \tag{24}$$

Après avoir vérifié que $\boldsymbol{P}$ peut effectivement être inversée, on en déduit la solution dans l'espace physique :

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

$$\begin{cases}\varepsilon_r^{fs}(t)=\left[-\sigma^s\left(x_1\dfrac{b_1^*}{\lambda_1}+\dfrac{b_2^*}{\lambda_2}\right)+x_1\mu_1\exp(\lambda_1 t)+\mu_2\exp(\lambda_2 t)\right]\\ \varepsilon_i^{fs}(t)=\left[-\sigma^s\left(\dfrac{b_1^*}{\lambda_1}+x_2\dfrac{b_2^*}{\lambda_2}\right)+\mu_1\exp(\lambda_1 t)+x_2\mu_2\exp(\lambda_2 t)\right]\end{cases} \quad (25)$$

Avec :

$$\begin{cases} b_1^*=\dfrac{1}{x_1x_2-1}\left[x_2(u_{rr}+2u_{ri})+u_{ri}\right]\\ b_2^*=\dfrac{1}{x_1x_2-1}\left[-(u_{rr}+2u_{ri})-x_1u_{ri}\right]\end{cases} \quad (26)$$

Enfin, μ_1 et μ_2 sont définis par les relations :

$$\begin{cases}\mu_1=-\dfrac{1}{(x_1x_2-1)\exp\left[(\lambda_1+\lambda_2)t_0\right]}\left[\dfrac{1}{2k_r}x_2\exp(\lambda_2 t_0)-\dfrac{1}{k_i}\exp(\lambda_2 t_0)\right]\\ \mu_2=-\dfrac{1}{(x_1x_2-1)\exp\left[(\lambda_1+\lambda_2)t_0\right]}\left[-\dfrac{1}{2k_r}\exp(\lambda_1 t_0)+\dfrac{1}{k_i}x_1\exp(\lambda_1 t_0)\right]\end{cases} \quad (27)$$

2.1.3 Résolution des équations constitutives du fluage déviatorique

Les déformations déviatoriques comportent une partie réversible et une partie irréversible (cf. [R7.01.06]) :

$$\underbrace{\underset{\sim}{\varepsilon}^{fd}}_{\text{déformation déviatorique totale}} = \underbrace{\underset{\sim}{\varepsilon}_r^{fd}}_{\text{contribution eau adsorbée}} + \underbrace{\underset{\sim}{\varepsilon}_i^{fd}}_{\text{contribution eau libre}} \quad (28)$$

La *j*ème composante principale de la déformation déviatorique totale est régie par les équations (29) et (30) :

$$\eta_r^d\dot{\boldsymbol{\varepsilon}}_r^{d,j}+k_r^d\boldsymbol{\varepsilon}_r^{d,j}=h\boldsymbol{\sigma}^{d,j} \quad (29)$$

où k_r^d désigne la rigidité associée à la capacité de l'eau adsorbée à transmettre des charges (*load bearing water*) et η_r^d est la viscosité associée à l'eau adsorbée par les feuillets d'hydrates.

$$\eta_i^d\dot{\boldsymbol{\varepsilon}}_i^{d,j}=h\boldsymbol{\sigma}^{d,j} \quad (30)$$

où η_i^d désigne la viscosité de l'eau libre. Le système d'équations (29) et (30) est plus simple à résoudre que celui régissant le comportement sphérique du fait qu'il est découplé. On suppose toujours que l'humidité reste égale à 1 durant tout le chargement. L'équation (29) correspond au modèle visco-élastique de Kelvin dont le réponse à un échelon de contrainte est de type exponentiel. Quant à l'équation (30), la réponse en déformation est linéaire avec la temps. La déformation de fluage totale s'écrit donc comme la somme de la contribution d'une chaîne de Kelvin et de la contribution d'un amortisseur et série :

$$\boldsymbol{\varepsilon}^{d,j}(t)=\left[\frac{t}{\eta_i^d}+\frac{1}{k_r^d}\left(1-\exp\left(-\frac{k_r^d}{\eta_r^d}t\right)\right)\right]\boldsymbol{\sigma}^{d,j}H(t) \quad (31)$$

2.1.4 Récapitulatif de la solution analytique

Pour un chargement uniaxial les solutions analytiques des deux composantes de déformation sont connues. La contribution de la partie déviatorique s'écrit :

$$\varepsilon^{fd}(t)=\frac{2}{3}\sigma_0\left[\frac{t}{\eta_i^d}+\frac{1}{k_r^d}\left(1-\exp\left(-\frac{k_r^d}{\eta_r^d}t\right)\right)\right] \quad (32)$$

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

Quant à la contribution de la partie sphérique, la solution est définie sur deux intervalles :

$$\varepsilon^{fs}=\begin{cases}\dfrac{\sigma_0}{3k_r^s}\left[1-\exp\left(-\dfrac{k_r^s}{\eta_r^s}t\right)\right] \text{ pour } t\leq\dfrac{\eta_r^s}{k_r^s}\ln 2\\ \dfrac{\sigma_0}{3}\left[\left(\dfrac{1}{k_r^s}+\dfrac{1}{k_i^s}\right)+\mu_1\left(1+x_1\right)\exp\left(\lambda_1 t\right)+\mu_2\left(1+x_2\right)\exp\left(\lambda_2 t\right)\right] \text{ pour } t>\dfrac{\eta_r^s}{k_r^s}\ln 2\end{cases} \quad (33)$$

La déformation axiale est une fonction linéaire des deux contributions précédentes :

$$\varepsilon_{zz}=\varepsilon^{fs}\left(\frac{\sigma_0}{3}\right)+\varepsilon^{fd}\left(\frac{2\sigma_0}{3}\right) \quad (34)$$

2.2 Solutions obtenues pour le modèle BETON_BURGER

La solution analytique n'a pas été développée pour ce chargement de fluage uniaxial. La solution de référence est obtenue numériquement en utilisant un script python (accessible sous le répertoire astest : SSNV163D.44). Le schéma d'intégration utilisé est explicite et sensible à la discrétisation temporelle employée.

2.3 Grandeurs et résultats de référence

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

2.4 Incertitudes sur la solution

Résultat analytique exact pour BETON_UMLV.
Résultat dépendant de la discrétisation temporelle employée pour BETON_BURGER.

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

2.5 Références bibliographiques

1. BENBOUDJEMA, F. : Modélisation des déformations différées du béton sous sollicitations biaxiales. Application aux bâtiments réacteurs de centrales nucléaires, Mémoire de D.E.A. Matériaux Avancés – Ingénierie des Structures et des Enveloppes, 38 p. (+ annexes) (1999).

2. BENBOUDJEMA, F., MEFTAH, F., HEINFLING, G., LE PAPE, Y. : Étude numérique et analytique de la partie sphérique du modèle de fluage propre UMLV pour le béton, note technique HT-25/02/040/A, 56 p (2002).

3. 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).

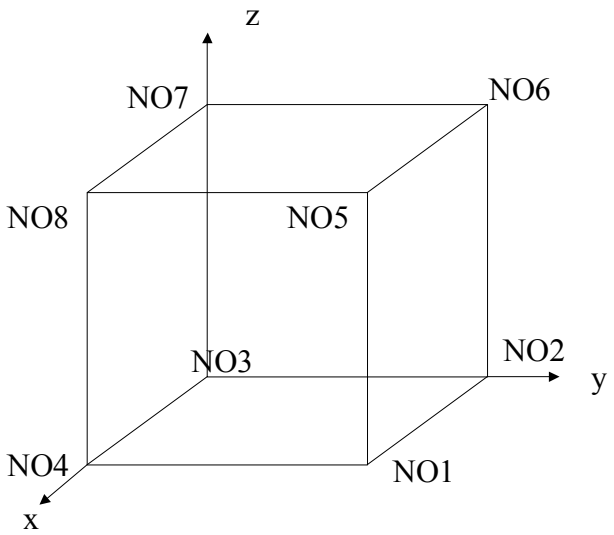
4. FOUCAULT, A.: Relation de comportement BETON_BURGER pour le fluage propre du béton, Documentation de Référence de *code_aster* [R7.01.35] (2011).

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}	$NO3 \quad NO7 \quad NO8 \quad NO4$
S_{AVT}	$NO1 \quad NO2 \quad NO6 \quad NO5$
S_{DRT}	$NO1 \quad NO5 \quad NO8 \quad NO4$
S_{GCH}	$NO3 \quad NO2 \quad NO6 \quad NO7$
S_{INF}	$NO1 \quad NO2 \quad NO3 \quad NO4$
S_{SUP}	$NO5 \quad NO6 \quad NO7 \quad NO8$

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} .

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

3.3 Grandeurs testées et résultats

La composante ε_{zz} au nœud $NO6$ a été testée.

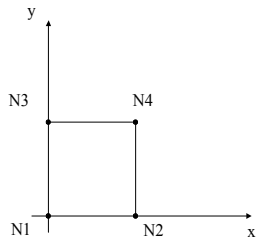
Instant	Référence	Type	Erreur
0.	0.	ANALYTIQUE	0
1.0000E+00	–3.225814D-05	ANALYTIQUE	5.0 E-03
9.7041E+04	– 3.867143D-05	ANALYTIQUE	5.0 E-03
1.8389E+06	–6.088552D-05	ANALYTIQUE	5.0 E-03
8.6400E+06	– 1.100478D-04	ANALYTIQUE	5.0 E-03

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

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation $2D$ axisymétrique.



4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 4
Nombre de mailles : 1 de type QUAD 4
4 de type SEG2

On définit les mailles suivantes :

L_{INF} $NO1$ $NO2$
L_{DRT} $NO2$ $NO4$
L_{SUP} $NO4$ $NO3$
L_{GCH} $NO3$ $NO1$

Les conditions aux limites en déplacement imposées sont :

Sur L_{GCH} : $DY=0$
Sur L_{INF} : $DX=0$

Le chargement est constitué du même champ de séchage et de la même force nodale $1/2$ appliquée sur les deux nœuds de L_{SUP} .

4.3 Grandeurs testées et résultats

La composante ε_{yy} au nœud $NO3$ a été testée

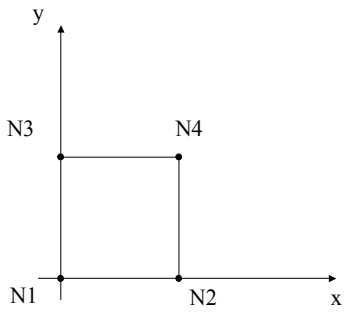
Instant	Référence	Type	Erreur
0.	0.	ANALYTIQUE	0
1.0000E+00	–3.225814D-05	ANALYTIQUE	5.0 E-03
9.7041E+04	– 3.867143D-05	ANALYTIQUE	5.0 E-03
1.8389E+06	–6.088552D-05	ANALYTIQUE	5.0 E-03
8.6400E+06	– 1.100478D-04	ANALYTIQUE	5.0 E-03

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

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation en Contraintes Planes.



5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 4
Nombre de mailles : 1 de type QUAD 4
4 de type SEG2

On définit les mailles suivantes :

L_{INF} $NO1$ $NO2$
L_{DRT} $NO2$ $NO4$
L_{SUP} $NO4$ $NO3$
L_{GCH} $NO3$ $NO1$

Les conditions aux limites en déplacement imposées sont :

Sur L_{GCH} : $DY=0$
Sur L_{INF} : $DX=0$

Le chargement est constitué du même champ de séchage et de la même force nodale $1/2$ appliquée sur les deux nœuds de L_{SUP} .

5.3 Grandeurs testées et résultats

La composante ε_{yy} au nœud $NO3$ a été testée

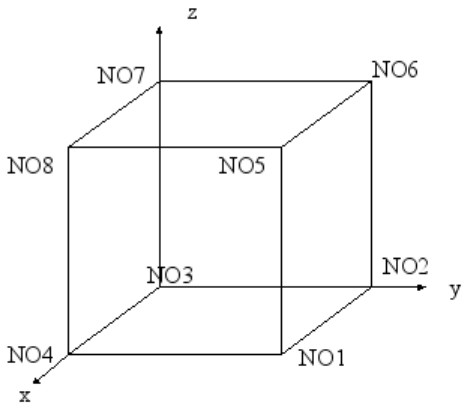
Instant	Référence	Type	Erreur
0.	0.	ANALYTIQUE	0
1.0000E+00	–3.225814D-05	ANALYTIQUE	5.0 E-03
9.7041E+04	– 3.867143D-05	ANALYTIQUE	5.0 E-03
1.8389E+06	–6.088552D-05	ANALYTIQUE	5.0 E-03
8.6400E+06	– 1.100478D-04	ANALYTIQUE	5.0 E-03

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

6 Modélisation D

6.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation 3D



6.2 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} .

6.3 Grandeurs testées et résultats

La composante ε_{zz} au nœud $NO6$ a été testée.

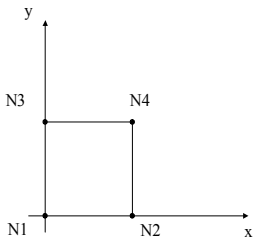
Instant	Type de Référence	Référence	% Tolérance
0.	SOURCE_EXTERNE	0.	-
1.0000E+00	SOURCE_EXTERNE	–3.22581D-05	0.1
9.7041E+04	SOURCE_EXTERNE	– 3.89947D-05	0.4
1.8389E+06	SOURCE_EXTERNE	–6.55895D-05	0.5
8.6400E+06	SOURCE_EXTERNE	– 1.32437D-04	0.1

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

7 Modélisation E

7.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation 2D AXIS.



7.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 4
Nombre de mailles : 1 de type QUAD 4
4 de type SEG2

On définit les mailles suivantes :

L_{INF} $NO1$ $NO2$
L_{DRT} $NO2$ $NO4$
L_{SUP} $NO4$ $NO3$
L_{GCH} $NO3$ $NO1$

Les conditions aux limites en déplacement imposées sont :

Sur L_{GCH} : $DY=0$
Sur L_{INF} : $DX=0$

Le chargement est constitué du même champ de séchage et de la même force nodale $1/2$ appliquée sur les deux nœuds de L_{SUP} .

7.3 Grandeurs testées et résultats

La composante ε_{yy} au nœud $NO3$ a été testée

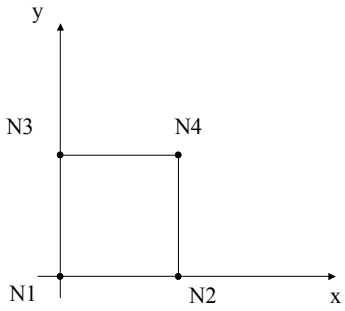
Instant	Type de Référence	Référence	% Tolérance
0.	SOURCE_EXTERNE	0.	-
1.0000E+00	SOURCE_EXTERNE	–3.22581D-05	0.1
9.7041E+04	SOURCE_EXTERNE	– 3.89947D-05	0.4
1.8389E+06	SOURCE_EXTERNE	–6.55895D-05	0.5
8.6400E+06	SOURCE_EXTERNE	– 1.32437D-04	0.1

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

8 Modélisation F

8.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation en Contraintes Planes.



8.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 4
Nombre de mailles : 1 de type QUAD 4
4 de type SEG2

On définit les mailles suivantes :

L_{INF} $NO1$ $NO2$
L_{DRT} $NO2$ $NO4$
L_{SUP} $NO4$ $NO3$
L_{GCH} $NO3$ $NO1$

Les conditions aux limites en déplacement imposées sont :

Sur L_{GCH} : $DY=0$
Sur L_{INF} : $DX=0$

Le chargement est constitué du même champ de séchage et de la même force nodale $1/2$ appliquée sur les deux nœuds de L_{SUP} .

8.3 Grandeurs testées et résultats

La composante ε_{yy} au nœud $NO3$ a été testée

Instant	Type de Référence	Référence	% Tolérance
0.	SOURCE_EXTERNE	0.	-
1.0000E+00	SOURCE_EXTERNE	–3.22581D-05	0.1
9.7041E+04	SOURCE_EXTERNE	– 3.89947D-05	0.1
1.8389E+06	SOURCE_EXTERNE	–6.55895D-05	0.1
8.6400E+06	SOURCE_EXTERNE	– 1.32437D-04	0.1

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

9 Synthèse des résultats

Les valeurs obtenues avec *code_aster* sont en accord avec les valeurs de référence. Ce même test a été tourné avec Castem au Laboratoire de Mécanique à L'Université de Marne la Vallée, les mêmes résultats ont été obtenus pour le modèle BETON_UMLV.

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