WSNP100 – Modélisation du séchage d'un échantillon en béton avec le modèle HYDR_TABBAL

Résumé :

Il s'agit d'une modélisation 2D du séchage d'un échantillon en béton avec le module THM non-saturée et en utilisant le modèle 'HYDR_TABBAL'.

La saturation initiale du béton correspond à une humidité relative de 90 % et le chargement hydrique, appliqué sur un bord de l'échantillon, est une pression capillaire correspondante à une humidité relative qui varie entre 80 % et 35 %. Les contraintes effectives et déformations calculées sont comparées à une solution analytique basée sur des travaux de littérature [1].

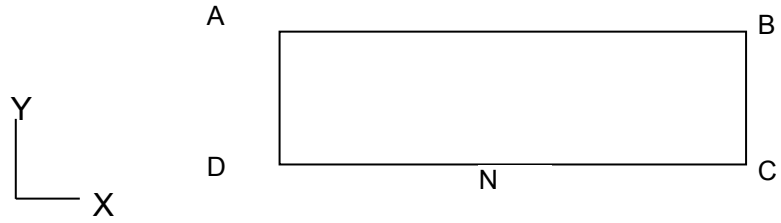
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

On se place dans le cadre d'un problème bidimensionnel traité avec une modélisation 2D en coordonnées cartésiennes et correspondant à une hypothèse de déformations planes.

La géométrie considérée correspond à un échantillon rectangulaire de 7x1cm :



Coordonnées des points (m) :
A(0 ; 0.1)
B(0.7 ; 0.1)
C(0.7 ; 0)
D(0 ; 0)
N(0.35 ; 0)

1.2 Propriétés du matériau

On ne donne ici que les propriétés dont la solution dépend, sachant que le fichier de commandes contient d'autres données de matériau (propriétés des fluides, propriétés thermique du matériau...) qui finalement ne jouent aucun rôle sur la solution du problème.

Pour les paramètres d'entrée du modèle 'H YDR_TABBAL ' , le calcul a été mené selon l'approche numérique détaillée dans la doc u2.04.05 – Annexe 3 et en considérant l'isotherme de désorption expérimentale indiquée dans la Figure 1 (cf. travaux de [1]).

Solide	Module d'Young $E(Pa)$	$54\,10^9$
	Coefficient de Poisson ν	0.2
Etat initial	Porosité	0.082
	Température T_0 (K)	293.15
	Pression capillaire P_{c0} (Pa)	13.97E6
	Pression de vapeur (Pa)	2070
	Saturation initiale en liquide	0.7
Coefficients homogénéisés	Masse volumique homogénéisée ($kg.m^{-3}$)	2600
	Coefficient de Biot b	0.7
	Perméabilité intrinsèque (m^2)	$K_{\text{int}}=10^{-14}$
	Isotherme de désorption – Voir Figure 1	$S(P_c)=1.879\left(1+\left(\frac{P_c}{P_r}\right)^{1.32\ (0.23)}\right)-1.029$ Avec $P_r=7.6\,E^{+07}$

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

Paramètres d'entrée de la loi HYDR_TABBAL	Coefficient de Shuttleworth $\left(\frac{\partial \gamma}{\partial \varepsilon_s}\right)\Big\|_{\mu}$	0.0
	Surface spécifique A0 (m^2/m^3)	64395000.0
	Epaisseur de la couche adsorbée $t(P_c)$ (m)	$t(P_c)=E^{-09}((K_1+K_2\cdot\ln(-\ln(\frac{M_w^{mol}}{RT\rho_w\ln(HR)}))))$ avec K_1 = 0,385 nm et K_2 = -0,189 nm
	Fraction volumique d'eau liquide $S_{BJH}(P_c)$	C ourbe donnée dans la Figure 1 – Valeurs exactes dans le fichier de commande
	Fraction surfacique de pores non saturés $\omega_{BJH}(P_c)$	Courbe donnée dans la Figure 1 – Valeurs exacte s dans le fichier de commande

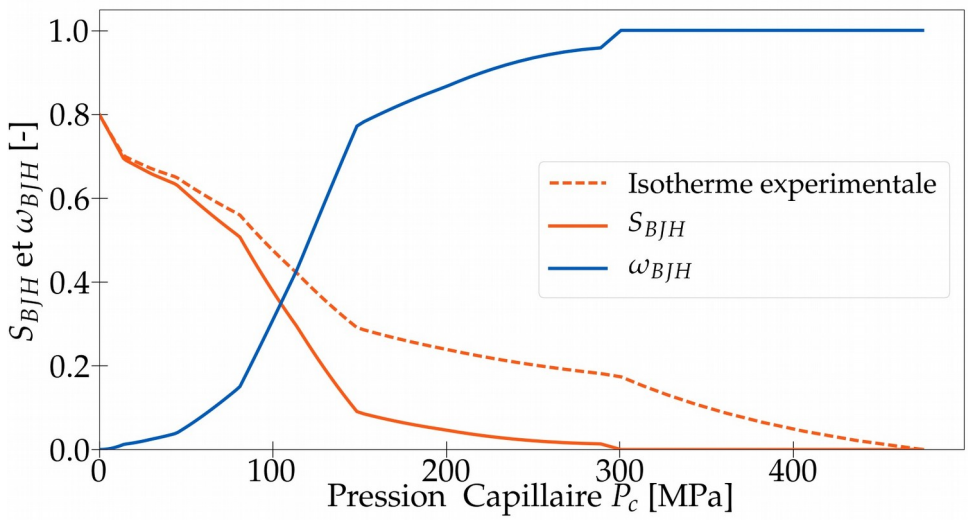


Figure 1

1.3 Conditions aux limites et chargements

Sur un des bords latérales de l'échantillon (ex. bord AD), on applique une pression capillaire qui correspond à une humidité relative fixe (en utilisant la loi de Kelvin). Dans ce cas test, une série d'humidités relatives est appliquée:

- HR = 0.804 (Pc = 29.5 MPa)
- HR = 0.755 (Pc = 38.05 MPa)
- HR = 0.549 (Pc = 81.15 MPa)
- HR = 0.353 (Pc = 140.88 MPa)

Cette série correspond aux humidités relatives testées expérimentalement dans l es travaux de [1].

Finalement, on impose:

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

- Aux points C et D: un déplacement vertical nul.
- Au point N : un déplacement vertical et horizontal nul.
- Sur les bords AB et DC: un flux hydraulique nul.

1.4 Conditions initiales

$P_c(x)=P_{c0}=13.97\,E^{+06}\,Pa$ et $T(x)=T_0=20°C$ partout.

2 Solution de référence

La solution de référence est basée sur un calcul analytique selon la nouvelle formulation poromécanique introduite par la thèse de G. EL TABBAL [2]. C e calcul analytique est effectué en utilisant des données expérimentales tirées de la littérature (travaux de [1]) .

2.1 Méthode de calcul analytique

L'objectif de ce calcul analytique est d'estimer les contraintes effectives et les déformations de séchage d'un échantillon en béton testé dans [1] pour une série d'humidités relatives testée (HR = 0.805 ; HR = 0.755 , HR = 0.549 , HR = 0.353) et pour un état d'équilibre mécanique atteint.

Le calcul des incréments de contraintes hydrauliques $d\,\sigma_p$ s'effectue en utilisant les équations 2.1.1 et 2.1.2. Dans l'équation 2.1.2, $d\,\pi$ correspond à la pression équivalente calculée selon la formulation du modèle 'HYDR_TABBAL'.

$$d\,\boldsymbol{\sigma_p}=-\boldsymbol{b}\,d\,\pi \qquad \text{éq 2.1.1}$$

$$d\,\pi=dp_{gz}-S_{BJH}\,dp_c-\frac{1}{3}\,p_c(S_{BJH})\,dS_{BJH}$$
$$+\frac{2}{3}(A_0/\phi^0)\left(-(\omega_{BJH}(S_{BJH})\,dt(P_c)+t(p_c)\,d\,\omega_{BJH}(S_{BJH}))\,.\,dp_c-\left(\frac{\partial\gamma}{\partial\varepsilon_s}\right)\Big|_\mu d\,\omega_{BJH}(S_{BJH})\right) \qquad \text{éq 2.1.2}$$

Les données matériau de ce béton ($\boldsymbol{b}$, $S_{BJH}(P_c)$, $\omega_{BJH}(P_c)$, $\left(\frac{\partial\gamma}{\partial\varepsilon_s}\right)\Big|_\mu$ et A0) sont telles qu e présentées dans la section 1.2.

Selon ce modèle, les déformations unidimensionnelles $d\,\boldsymbol{\epsilon_r}$ (dans ce cas selon X) de retrait de séchage sont calculées en considérant une approche élastique linéaire et un matériau isotrope. Dans l'équation 2.1.3, K_b représente le module de compressibilité élastique du béton et est calculé selon l'équation 2.1.4 , en considérant que le milieu est à contraintes libres (les contraintes totales sont nulles) et que $d\,\sigma'=-d\,\sigma_p$:

$$d\,\boldsymbol{\epsilon_r}=\left(\frac{1}{3\,K_b}\right)d\,\sigma' \qquad \text{éq 2.1.3}$$

$$K_b=\frac{E}{(3(1-2\nu))} \qquad \text{éq 2.1.4}$$

2.2 Résultats de références

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

Les valeurs des contraintes hydrauliques et déformations obtenues analytiquement selon le modèle poromécanique de [2] sont présentées dans le tableau suivant, pour les différentes humidités relatives testées :

HR testée	$d\sigma_p$ (MPa)	$d\epsilon_r$ (10^{-6} m/m)
0.805	7.950	- 80.68
0.755	11.773	- 123.06
0.55	27.937	- 302.84
0.35	33.625	- 375.26

3 Modélisation A

Cette modélisation a pour but de valider le calcul sur une série d'humidités relatives (définie dans la section 1.3)

3.1 Caractéristiques de la modélisation A

- Modélisation en déformations planes 2D.
- 700 éléments $Q8$.
- Discrétisation en temps: 10 pas de temps de 100 secondes chacun suivis de 10 pas de temps de 4320 secondes chacun . Temps de calcul total : 1/2 jour ($4{,}32\times10^4 s$).

3.2 Résultat de la modélisation A

On vérifie bien que l'état permanent mécanique est atteint numériquement pour chaque HR testée : à la fin de la modélisation, les déformations et les contraintes deviennent constantes et identiques sur tous les nœuds de calcul.

Le champ des contraintes 'SIEF_NOEU' est calculé pour pouvoir récupérer la contrainte effective selon la direction X ('SIXX') sur un nœud quelconque (ici le nœud N2) et pour l'instant de calcul final ($4{,}32\times10^4 s$).

Étant donné que la modélisation est en déformation plane, les déformations unidimensionnelles de retrait (dans ce cas selon X) sont déterminées par post-traitement des contraintes effectives ' SI XX' de Code_Aster.
L es valeurs de ' SI XX' sont comparées aux valeurs analytique s $-d\sigma_p$ présentées dans la section 2.2 pour chaque HR testé e .

L es résultats présentent tous des écarts inférieurs de 10 % par rapport à la solution de référence ce qui constitue un bon résultat au vue des écarts dues à la discrétisation . Plus le séchage est important plus le pourcentage d'erreur est faible.

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

HR testée	$-d\sigma_p$ (MPa)	SIXX (MPa)	**Ecart** $(\%)$
0.805	-7.950	7.264	8.62
0.755	-11.773	11.09	5.75
0.549	-27.937	27.16	2.79
0.353	-33.625	33.32	0.89

4 Modélisation B

Cette modélisation constitue un test de non-régression pour une seule humidité relative (HR = 0.805) et un seul pas de temps.

4.1 Caractéristiques de la modélisation B

- M odélisation en HH2MS puis HH2MD .
- 700 éléments $Q8$.
- Discrétisation en temps: 1 pas de temps pour un temps de calcul total de 3600s.

4.2 Résultat de la modélisation B

Le champ des contraintes ' SIEF_NOEU' est calculé pour pouvoir récupérer la contrainte effective selon la direction X (' SI XX') sur un nœud quelconque (ici le nœud N2) et pour l'instant de calcul final .
Les valeurs de 'SIXX' sont comparées à la valeur analytique $-d\sigma_p$ pour HR=0.805 présentée dans la section 2.2 et sont montrées dans le tableau ci-dessous.

HR testée	$-d\sigma_p$ (MPa)	SIXX (MPa)	**Ecart** $(\%)$
0.805	-7.950	-7.258	8.7

5 Références Bibliographiques

1) Baroghel-Bouny, V., Mainguy, M., Lassabatere, T., Coussy, O., 1999. Characterization and identification of equilibrium and transfer moisture properties for ordinary and high-performance cementitious materials. Cem. Concr. Res.

2) G. El TABBAL « Drying behavior of concrete : Application to nuclear waste packages ». Thèse Université Paris-Est. (2020)

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