# WTNP107 – Modélisation du séchage d'un barreau de béton avec différentes isothermes de sorption

**Résumé :**

Ce test représente la modélisation THM du séchage et du chauffage d'un barreau en béton. L'objectif premier de ce test est de vérifier la bonne prise en compte de plusieurs isothermes de sorption fonction de la température. En outre, ce test est représentatif d'un comportement séchant réaliste.

La saturation initiale du matériau est de 0,98. Une humidité relative de 70 %est appliquée sur un bord de l'échantillon ainsi qu'une température de 60°C et une pression de gaz de 5 bar. Les lois d'isotherme sont issues de la littérature [1, 2, 3].



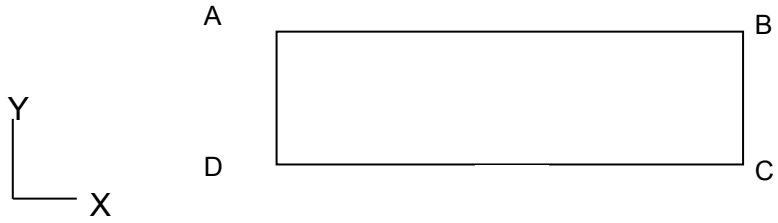
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

# 1 Problème de référence

## 1.1 Géométrie

On se place dans le cadre d'une modélisation 2D avec une hypothèse de déformations planes.

La géométrie considérée correspond à un échantillon rectangulaire de 20x5 cm (la dimension en Y n'importe pas du fait du caractère monodimensionnel du problème).




Coordonnées des points ( $m$ ) :
A(0 ; 0.05)
B(0,2 ; 0.05)
C(0,2 ; 0)
D(0 ; 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 qui finalement ne jouent aucun rôle sur la solution du problème. La modélisation est purement thermo-hydraulique (pas de rôle de la mécanique).

Les isothermes de sorptions sont explicitées après ce tableau de même que la perméabilité relative au liquide.

| | | |
|---|---|---|
| Etat initial de référence | Porosité | 0.15 |
| | Température $T_0$ ( $K$ ) | 293. |
| | Pression de vapeur ( $Pa$ ) | 1000 |
| Eau liquide | Masse volumique ( $kg.m^{-3}$ ) | 1000 |
| | Viscosité ( $kg.m^{-1}.s^{-1}$ ) | $10^{-3}$ |
| | Compressibilté ( $Pa^{-1}$ ) | $0.5\ 10^{-9}$ |
| | Chaleur massique ( $J.K^{-1}$ ) | 4180 |
| Gaz | Masse volumique ( $kg.m^{-3}$ ) | $2\ 10^{-3}$ |
| | Viscosité ( $kg.m^{-1}.s^{-1}$ ) | $9\ 10^{-6}$ |
| | Chaleur massique ( $J.K^{-1}$ ) | 1017 |
| Gaz dissous | Coefficient de Henry ( $Pa.mol^{-1}m^3$ ) | 130719 |
| Vapeur | Masse volumique ( $kg.m^{-3}$ ) | $18\ 10^{-3}$ |
| | Chaleur massique ( $J.K^{-1}$ ) | 1900 |
| Coefficients homogénéisés | Masse volumique homogénéisée ( $kg.m^{-3}$ ) | 1737 |
| | Perméabilité intrinsèque $(m^2)$ | $K_{\text{int}}=1.2\,10^{-20}$ |
| | Perméabilité relative au gaz | 1 |



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

| | |
|---|---|
| Conductivité thermique ( $W.K^{-1}.m^{-1}$ ) | $\lambda_T = 0.09S + 1.34$ |
| Chaleur massique ( $J.K^{-1}$ ) | 1500 |
| Diffusion dans le mélange liquide $(m^2.s^{-1})$ | $D_l(S) = S * 10^{-10}$ |
| Diffusion dans le mélange gazeux $(m^2.s^{-1})$ | $D_g(S,T)$ (cf. plus bas) |

La courbe de sorption reliant la pression capillaire à la saturation est donnée par la relation suivante :

$$Pc(S,T) = \frac{-\rho_l(T_0).R.T_0}{\alpha M_{vap}}(S^{-1/\beta}-1)^{1-\beta}\frac{\gamma_{lv}(T_0)}{\gamma_{lv}(T)}\cdot\sqrt{\frac{m(T_0)}{m(T)}}$$

où $T_0$ est la température de référence (20°C) où sont évalués les paramètres $\alpha$ et $\beta$, R est la constante des gaz parfaits, $M_{vap}$ la masse molaire de la vapeur, et :

$$\frac{m(T)}{m(T_0)} = 10^{A_d[2.10^{-3}(T-T_0)-10^{-6}(T-T_0)^2]}$$ et $$\gamma_{lv}(T) = 0.1558\left(1-\frac{T}{647.1}\right)^{1.26}$$

Par ailleurs, les perméabilités relatives sont données par une relation de Van-Genuchten, telles que :

$$k_{rl}(S) = S^p[1-(1-S^{1/\beta})^{\beta}]^2$$

et

$$k_{rg}(S) = (1-S)^p[1-S^{1/\beta}]^{2.\beta}$$

Les constantes retenues sont [3]: $p = 2.91$ $\beta = 0.389$, $\alpha = 9.334$ et $A_d = 10.378$

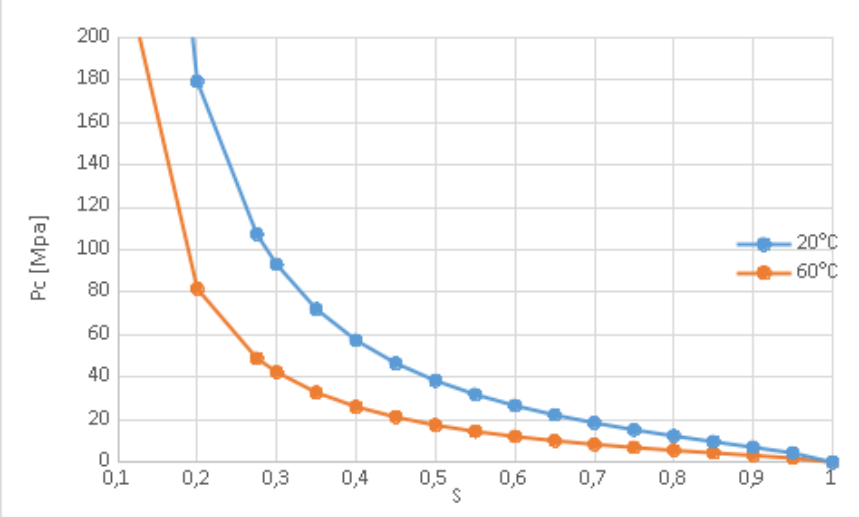



**Figure 1 : S(Pc) à 20°C et 60°C**

Enfin la diffusion dans le mélange gazeux [ 3 ] est telle que $D_g(S,T) = D_0(T)\varphi^a(1-S)^b$ avec a et b les coefficients de Milington tels que a = 2.607 et b = 7 et $D_0(T) = 0.217.10^{-4}\left(\frac{T}{273}\right)^{1.88}$.

## 1.3 Conditions aux limites et chargements

Sur le bord gauche de l'échantillon (bord AD), on applique une pression capillaire qui correspond à une humidité relative fixe (en utilisant la loi de Kelvin) ainsi qu'une température :


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

- HR = 70 % (Pc = 48.2 MPa)
- T = 60°C
- Pg = 0,5 MPa (soit 0,4 MPa par rapport à l'état initial)

- Un flux nul est appliqué partout ailleurs

## 1.4 Conditions initiales

Initialement, on considère uniformément une saturation S = 0.98 ce qui correspond à $P_c(x)=P_{c0}=2.4\,10^6\,Pa$ , une pression de gaz $P_g(x)=P_{g0}=10^5\,Pa$ et une température $T(x)=T_0=20\,°C$ .

# 2 Solution de référence

I l s'agit ici d'un cas de non régression. On s'assurera juste que l'isotherme est correctement prise en compte.

# 3 Modélisation A

## 3.1 Caractéristiques de la modélisation A

- Modélisation en déformations planes 2D.
- Loi Hydraulique : 'LIQU_AD_GAZ_VAPE'
- 50 éléments $Q8$ .

La simulation est réalisée sur un an.

## 3.2 Résultat de la modélisation A

Les figures qui suivent présentent les profils de variation de température, pression capillaire, saturation et variation de pression de gaz (par rapport à l'état initial) à différents temps (1 heure, 1 mois, 1 an) Le comportement observé correspond bien à celui d'un séchage avec un front de désaturation progressif. Les cinétiques sont logiquement différentes pour la thermique et pour le séchage. Il s'agit d'un cas de non régression (pas de solution de référence).



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

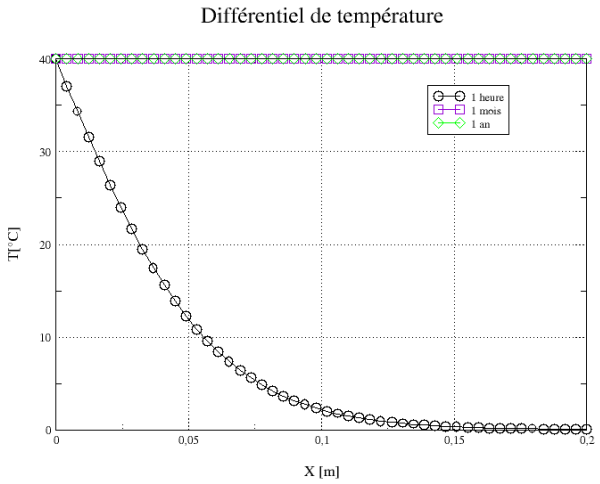



**Figure 3.2-1: Profils de température**

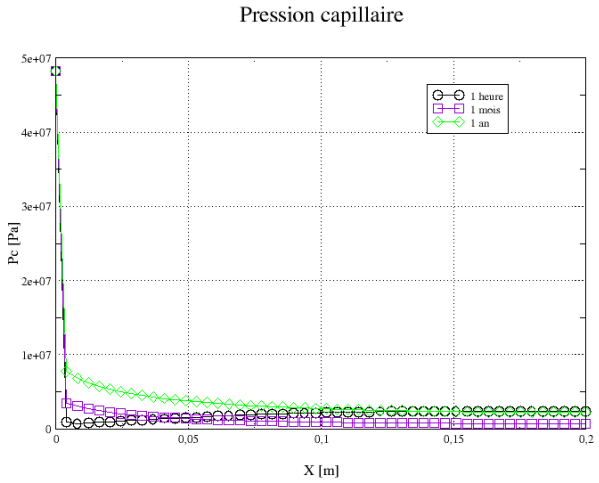



**Figure 3.2-2: Profils de pression capillaire**



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

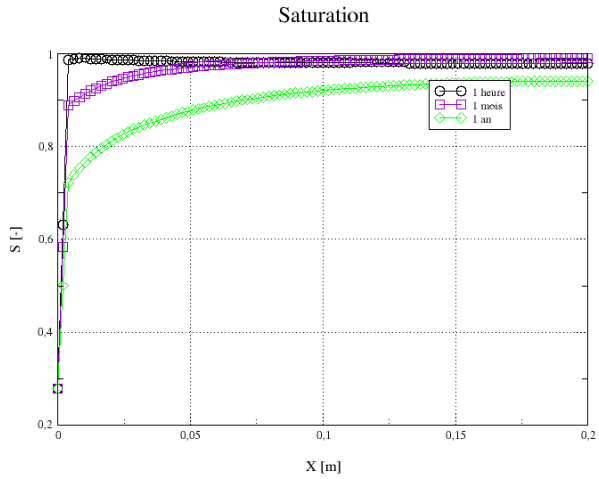



**Figure 3.2-3: Profils de saturation**

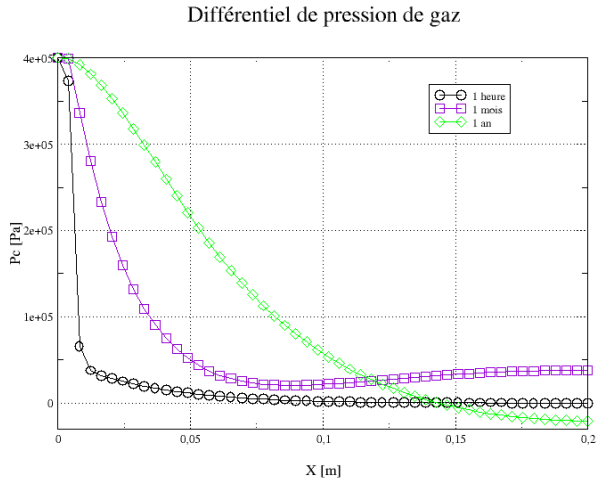



**Illustration 1: Profils de pression de gaz**

On vérifie les valeurs des pressions et saturation au nœud 14 (x = 0, 04 ; y= 0 ).

| Temps | S | PRE1 (MPa) |
|---|---|---|
| 1 heure | 0,984 | 1,35 |
| 1 mois | 0,965 | 1,57 |
| 1 an | 0,862 | 4,11 |

On vérifie ensuite sur une modélisation de 1 heure que l'isotherme est bien prise en compte pour :

- la loi de comportement ' LIQU_AD_GAZ '.



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

| Temps | PRE1 (MPa) |
|---|---|
| 1 heure | 1,29 |

- la loi de comportement ' **LIQU_GAZ** '.

| Temps | PRE1 (MPa) |
|---|---|
| 1 heure | 1,29 |

- la loi de comportement '**LIQU_VAPE_GAZ**'.

| Temps | PRE1 (MPa) |
|---|---|
| 1 heure | 1,33 |

# 4 Modélisation B

## 4.1 Caractéristiques de la modélisation B

Ce cas correspond à une modélisation de Richards, on n'applique donc pas de pression de gaz au bord. Celle-ci est constante à 1 atm.

- Modélisation en déformations planes 2D.
- Loi Hydraulique : 'LIQU_AD_GAZ_ATM'
- 50 éléments $Q8$.

La simulation est réalisée sur un an.

## 4.2 Résultat de la modélisation B

Les résultats sont qualitativement conformes aux résultats attendus. Il s'agit d'un cas de non régression.

On vérifie les valeurs des pressions et saturation au nœud 14 (x = 0, 04 ; y= 0 ).

| Temps | S | PRE1 (MPa) |
|---|---|---|
| 1 heure | 0,987 | 1,25 |
| 1 mois | 0,967 | 1,52 |
| 1 an | 0,863 | 4,1 |

# 5 Références Bibliographiques



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

1) Davie, C., Pearce, C., Kukla, K., Bićanić, N., 2018. Modelling of transport processes in concrete exposed to elevated temperatures - An alternative formulation for sorption isotherms. Cement and Concrete Research 106, 144–154

2) Leverett, M., 1941. Capillary behaviour in porous solids. Transactions of the American Institute of Mining and Metallurgical Engineers 142, 152–169.

3) Projet CIWAP3 – lot JNVE – Modèle de séchage du béton VERCORS : implémentation, étude de sensibilité, recalage et validation du modèle RICHARDS_FICK_TEMP(RFT). Note interne 6125-2104-2019-02929-FR



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