TTNL03 - Thermo-hydratation. Simulation d'un essai adiabatique

Résumé :

Ce test a pour but de valider le comportement thermo-hydratant THER_HYDR, en simulant un essai adiabatique :
un échantillon de béton frais est plongé dans un calorimètre, la prise s'effectuant avec dégagement de chaleur, il s'agit de retrouver le champ de température et d'hydratation au cours du temps.

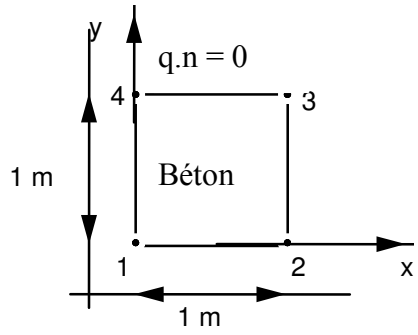
La température et le degré d'hydratation sont uniformes dans l'échantillon. La température mesurée dans le calorimètre sera donc la solution de référence, l'hydratation étant déterminée par intégration analytique de la loi d'évolution.

2 modélisations sont proposées : tridimensionnelle et axisymétrique.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie



1.2 Propriétés de matériaux

Le matériau possède les caractéristiques thermiques suivantes :

Conductivité thermique : $k_s = 6\, kJ/h/m/°K$

variation d'enthalpie volumique : $\Delta H = 2.4\,105\, kJ/m^3$,

et les caractéristiques relatives au comportement hydratant suivantes :

Chaleur par degré d'hydratation : $Q_0 = 1.4904105\, kJ/m^3$

Constante d'Arrhénius : $Ar = 4000/°K$.

Remarque :

La constante d'Arrhénius est toujours exprimée en degré Kelvin. Les températures sont exprimées en $°C$.

Affinité fonction de l'hydratation :

Degré d'hydratation h	Affinité $A(h)(1/h)$
0	6510
0.008	6360
0.016	2485
0.019	2460
0.038	9520
0.047	21800
0.08	37600
0.138	51600
0.232	51400
0.351	28200
0.44	16100
0.5	11700
0.63	5570
0.73	4240
0.81	1780
0.88	302
0.97	50
1.00	0

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

1.3 Conditions aux limites et chargements

On impose un flux thermique nul sur toutes les faces du solide. Le chargement est uniquement initié par une source de chaleur dépendant de l'hydratation $\Delta Q = Q_0 \Delta h$.

1.4 Conditions initiales

La température initiale est de $20.9\,°C$

1.5 Discrétisation en temps

L'intégration explicite de l'hydratation demande une discrétisation temporelle fine jusqu'à la fin du phénomène d'hydratation:

De $t=0$ à $t=20\text{h}$, $\Delta t = 7{,}5\,min$ soit 160 pas.
De $t=20\text{h}$ à $t=60\text{h}$, $\Delta t = 1\,h$ soit 40 pas.

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

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

La solution de référence en température est donnée par les températures mesurées à chaque instant au cours de l'essai adiabatique.

La solution de référence pour le degré d'hydratation est calculée analytiquement en fonction des températures mesurées en intégrant la loi d'évolution du degré d'hydratation hy :

$\Delta hy = A(h)\, e^{\frac{-Ar}{(T+273.15)}} \Delta t$, T étant exprimée en $°C$

2.2 Résultats de Référence

Les résultats concernent les 60 premières heures de l'essai.

t **(en** h **)**	T **(en** $°C$ **)**	hy **(en%)**
0	20.9	0
1	21.4	0.8
2	21.9	1.6
3	22.1	1.9
4	22.3	2.2
5	22.5	2.58
10	35.3	23.2
15	57.8	59.4
20	68.3	76
30	75.8	88
45	77.9	92
60	79.1	94

2.3 Incertitude sur la solution

Mesure des températures lors de l'essai. Intégration de la loi d'évolution de hy sur des pas de temps variant entre 1h et 5h.

2.4 Références bibliographiques

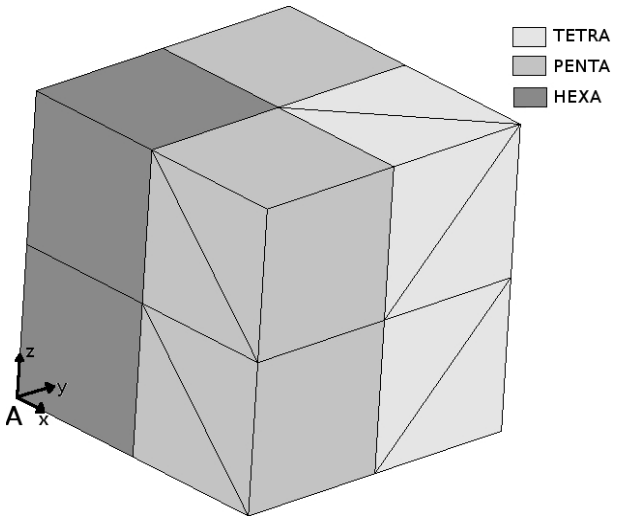
- CESAR-LCPC 3.2. Manuel d'exemples. Modélisation du béton au jeune âge. Janvier 1996
- Gilles DEBRUYNE : Analyse de modèles de comportement du béton dans CESAR : transférabilité du modèle TEXO-MEXO dans le *Code_Aster*. CR MMN 97-193. 24/12/97

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Deux calculs sont réalisés, un en modélisation 3D et l'autre 3D_DIAG.



3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 29
Nombre de mailles et types : 2 HEXA8, 8 PENTA6, 24 TETRA4

3.3 Grandeurs testées et résultats

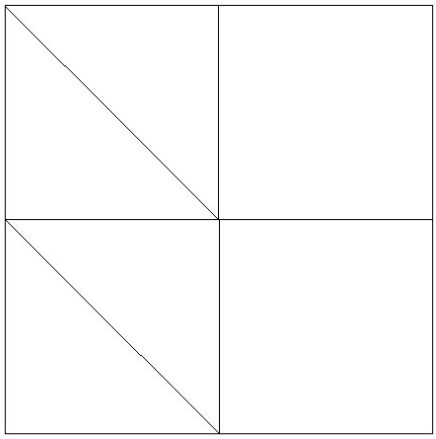
Identification	Instants	Référence	*Aster 3D*	*Aster 3D_DIAG*	% différence
T nœud A	5	22.5	22.46	22.46	-0.19
T nœud A	15	57.8	58.35	58.35	0.95
T nœud A	60	79.1	78.84	78.84	-0.33
hy nœud A	15	0.594	0.603	0.603	1.5

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

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Deux calculs sont réalisés, un en modélisation AXIS et l'autre AXIS_DIAG.



4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 9
Nombre de mailles et types : 4 TRIA3, 2 QUAD4

4.3 Grandeurs testées et résultats

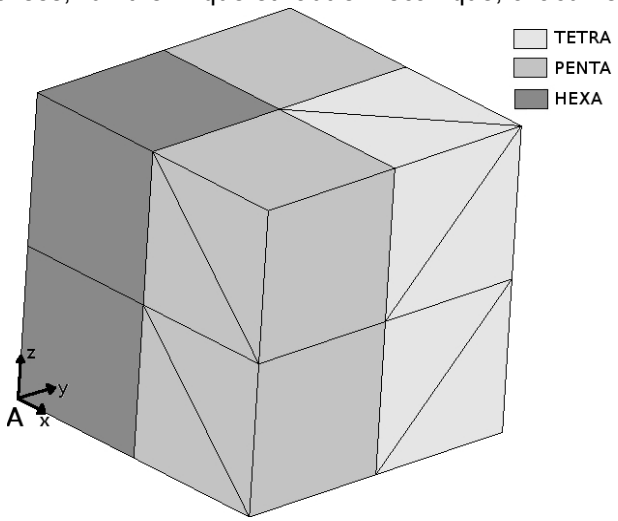
Identification	Instants	Référence	*Aster AXIS*	*Aster AXIS_DIAG*	% différence
T nœud A	5	22.5	22.46	22.46	-0.19
T nœud A	15	57.8	58.35	58.35	0.95
T nœud A	60	79.1	78.84	78.84	-0.33
hy nœud A	15	0.594	0.603	0.603	1.5

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

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

Deux calculs sont réalisés, l'un thermique et l'autre mécanique, chacun en modélisation 3D.



5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 116
Nombre de mailles et types : 2 HEXA20, 8 PENTA15, 24 TETRA10

5.3 Grandeurs testées et résultats

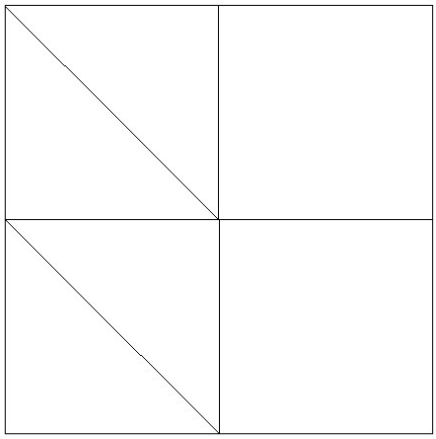
Identification	Instants	Référence	*Aster 3D*	% différence
T nœud A	5	22.5	22.46	-0.19
T nœud A	15	57.8	58.35	0.95
T nœud A	60	79.1	78.84	-0.33
hy nœud A	15	0.594	0.603	1.5

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

6 Modélisation D

6.1 Caractéristiques de la modélisation

Deux calculs sont réalisés, un en modélisation AXIS et l'autre AXIS_DIAG.



6.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 23
Nombre de mailles et types : 4 TRIA6, 2 QUAD9

6.3 Grandeurs testées et résultats

Identification	Instants	Référence	*Aster AXIS*	*Aster AXIS_DIAG*	% différence
T nœud A	5	22.5	22.46	22.46	-0.19
T nœud A	15	57.8	58.35	58.35	0.95
T nœud A	60	79.1	78.84	78.84	-0.33
hy nœud A	15	0.594	0.603	0.603	1.5

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

7 Synthèse des résultats

L'erreur obtenue par rapport à la solution de référence est de l'ordre de 1% en ce qui concerne la température et l'hydratation. Signalons que le problème a été traité avec des pas de temps relativement petits pour le phénomène d'hydratation qui dure plusieurs dizaines d'heures. Ce raffinement est nécessaire à cause de l'intégration explicite de l'hydratation.

Les résultats avec et sans diagonnalisation de la matrice 'masse' thermique sont identiques car le phénomène observé ne contient pas de phase transitoire très contraignante.

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