

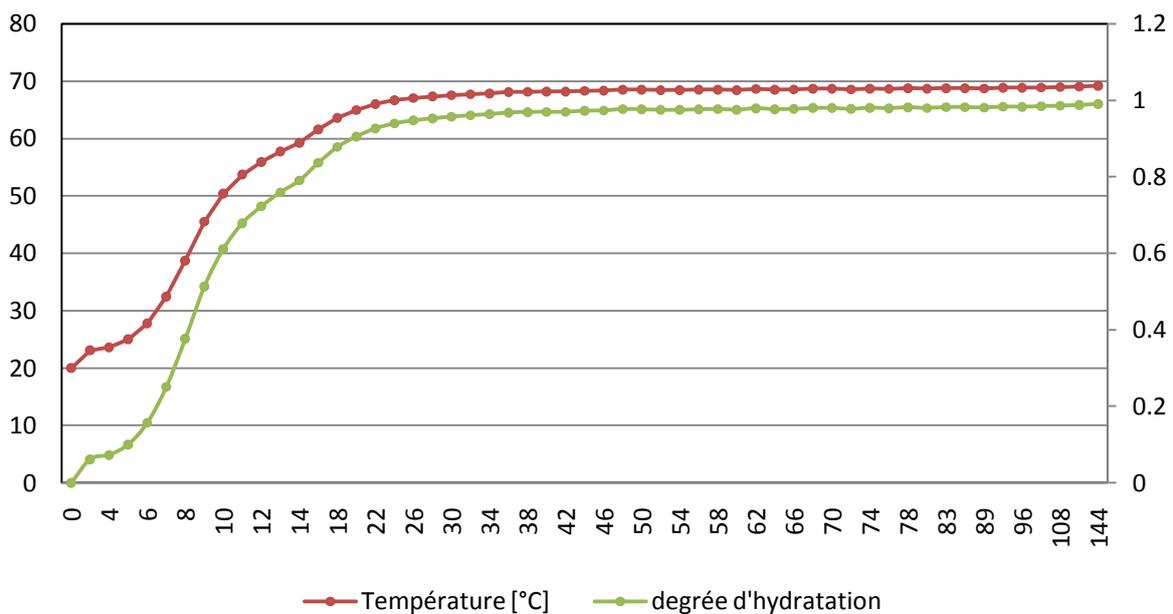
Compte rendu de LA37 B, TP numéro 1.

Les essais effectués par le laboratoire des ponts et chaussées nous ont fournis la température du béton dans son jeune âge en fonction de la température lors d'un essai adiabatique, grâce à ces informations on peut tout d'abord en déduire l'évolution du degré d'hydratation du béton.

$$\xi = \xi_0 \frac{T_{ad}(t) - T_{ad}(0)}{T_{ad}(\infty) - T_{ad}(0)}$$

On peut alors tracer le degré d'hydratation du béton en fonction du temps en heures avec lequel on peut mettre en relation la variation de température dans le béton au cours de l'essai adiabatique.

Evolution de la température et du degré d'hydratation



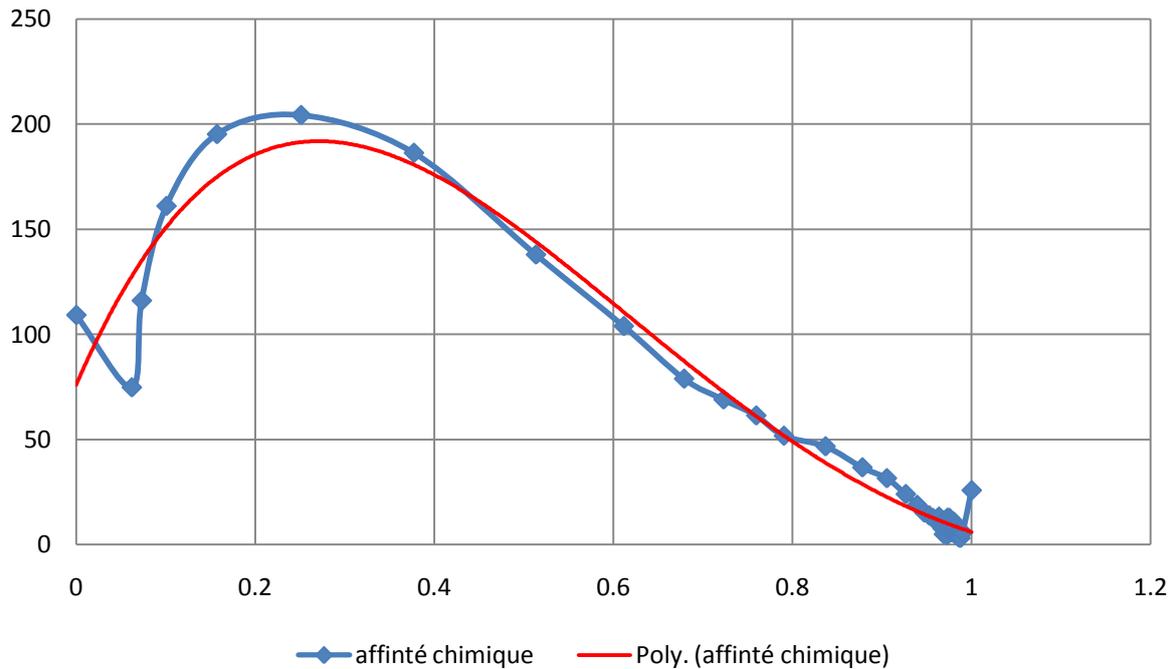
On peut donc remarquer que la température et le degré d'hydratation suivent la même évolution au cours du temps même si l'échelle n'est pas la même. Cela est dû à la définition du degré d'hydratation qui est égal coefficient directeur de l'évolution de la température. Le but de cette partie étant de déterminer l'expression de l'affinité chimique en fonction du degré d'hydratation, nous choisissons d'utiliser la variation de température au cours du temps pour calculer de façon approchée l'affinité chimique

$$V(T, t) = \frac{dT^{ad}(t)}{dt}$$

$$A(t) = \xi_{\infty} \frac{V(T, t)}{T_{ad}(\infty) - T_{ad}(0)} e^{\frac{Ea}{RT^{ad}(t)}}$$

Cette expression nous est donnée par la relation d'Arrhenius. On peut donc tracer la racine carrée de l'affinité chimique : $\sqrt{A(\xi)} = a_1 + b_1\xi + c_1\xi^2 + d_1\xi^3 + e_1\xi^4$ en fonction du degré d'hydratation et grâce au tableur Excel faire une régression polynomiale d'ordre 4 pour déterminer les constantes a_i . Attention les résultats ne seront valides que si l'affinité est positive, or puisque ici nous avons à faire à une réaction exothermique dans le sens directe, l'affinité chimique ne peut être négative. Nous avons donc le droit de prendre la racine carrée de l'expression :

affinité chimique



$$y = -53,11x^4 + 20,46x^3 - 25,69x^2 + 98,40x + 0,759$$

$$R^2 = 0,960$$

On trouve donc ainsi les différentes valeurs des constantes qui permettent d'écrire l'affinité chimique normalisée en fonction du degré d'hydratation. On peut remarquer que la modélisation polynomiale de degré 4 est plutôt correcte avec un coefficient de corrélation qui atteint la valeur 0.96 c'est-à-dire que l'on a 4% d'erreur.

Nous devons ensuite déterminer l'évolution du degré d'hydratation pour une température de 20°C, ainsi nous connaissons l'expression :

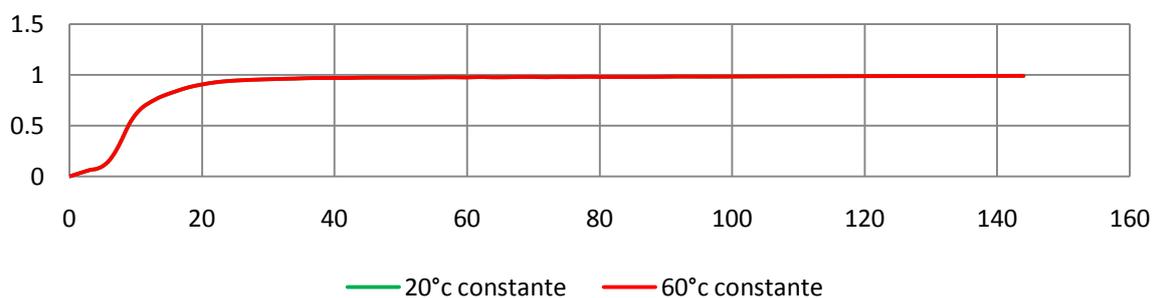
$$\frac{d\xi}{dt} = A(\xi)e^{\left(\frac{-Ea}{RT}\right)}$$

Que l'on peut discrétiser car la dérivée du degré d'hydratation est une dérivée droite, ainsi il suffit de calculer :

$$\xi_{i+1} = \left(A(\xi_i)e^{\left(\frac{-Ea}{RT_i}\right)} \right) (t_{i+1} - t_i) + \xi_i$$

On peut ainsi tracer les courbes suivantes :

Evolution du degré d'hydratation



On peut remarquer que les écarts sont très faibles, nous pouvons regarder plus précisément de quel ordre sont-ils ? Ainsi :

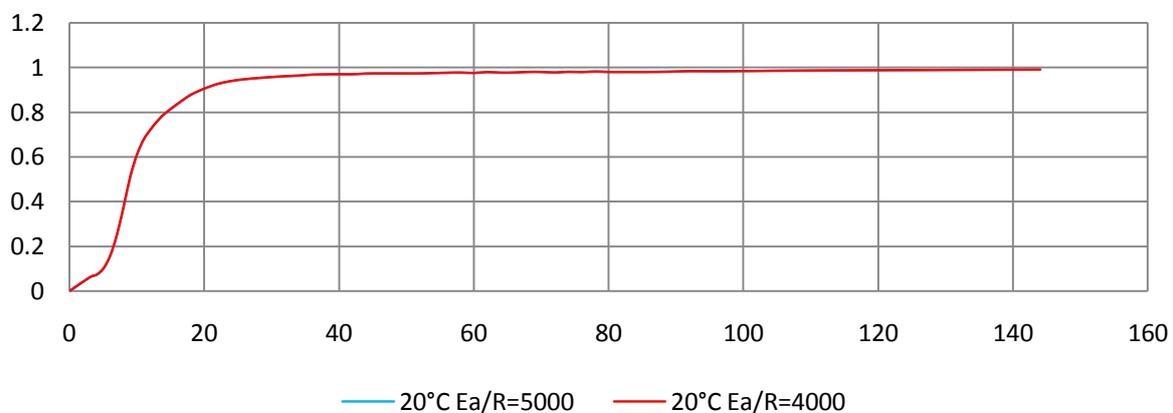
60°C	20°C	Ecart en pourcent
0,061906491	0,063372166	2,312805185
0,073059729	0,075335024	3,020235456
0,100620701	0,103777229	3,041638139
0,157051232	0,160876944	2,378036773
0,250988028	0,254990892	1,569806981
0,376995398	0,380645727	0,958983319
0,513330578	0,516031411	0,523385524
0,611454864	0,613488763	0,331529912
0,678776902	0,680319615	0,226763047
0,722805998	0,724154601	0,186231331
0,759345921	0,760545156	0,157681035
0,790273805	0,792294072	0,254989581
0,836759311	0,838581327	0,217273661
0,877909752	0,879339288	0,162569316
0,90524943	0,906476141	0,135327544
0,926428618	0,927359242	0,100352013
0,939152237	0,939881033	0,07754132
0,947185028	0,947769197	0,061636242
0,952459693	0,952992734	0,055933337
0,956908933	0,957391001	0,050352199

$$Ecart \% = \frac{|\xi^{60} - \xi^{20}|}{MAX(\xi^i)} * 100$$

On peut donc en déduire que l'écart entre les évolutions que l'on aurait pu penser très différentes des degrés d'hydratation est en fait très similaire. On peut aussi très bien observer ceci sur la graphique, on peut en conclure que la température influence peut l'évolution du degré d'hydratation.

On suit à nouveau le même protocole pour une température constante de 20°C mais pour un rapport Ea/R = 5000 SI :

Evolution du degré d'hydratation



De même que précédemment l'écart est extrêmement faible si l'on compare les deux courbes à 20°C degré mais avec un coefficient Ea/R différent.

Seconde partie :

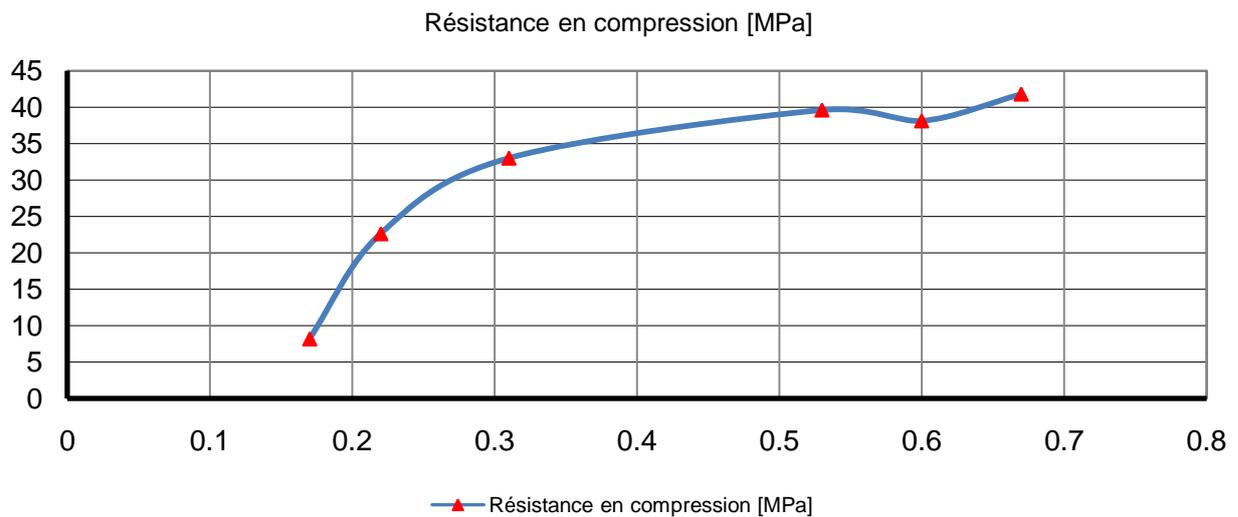
On cherche maintenant à déterminer la résistance en compression et le module d'Young pour un degré d'hydratation infini. Ainsi, on a la relation suivante :

$$\frac{f_c(\xi)}{f_c(\xi_\infty)} = \left(\left\langle \frac{\xi - \xi_0}{\xi_\infty - \xi_0} \right\rangle^+ \right)^b$$

Et ainsi en passant cette expression au log :

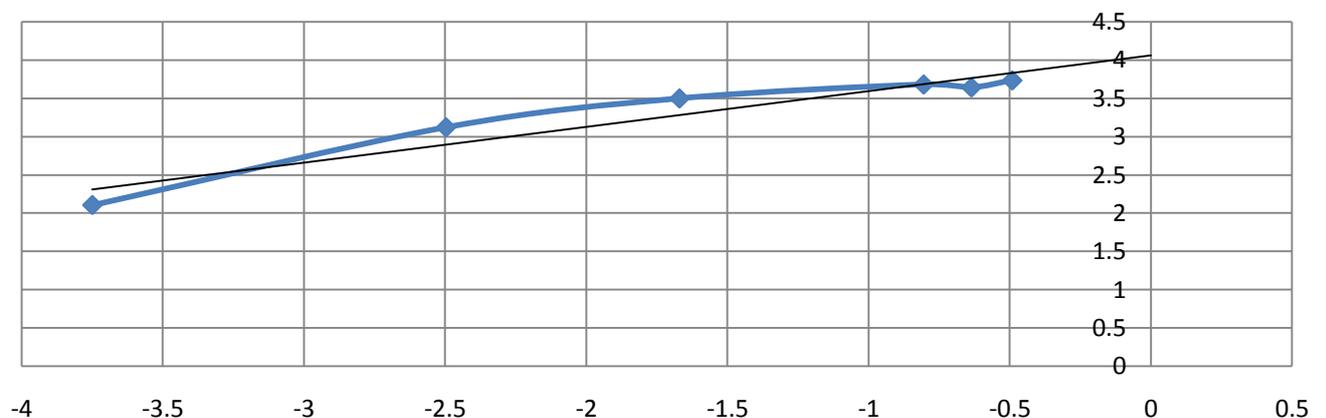
$$\ln(f_c(\xi)) = b \cdot \ln \left(\left\langle \frac{\xi - \xi_0}{\xi_\infty - \xi_0} \right\rangle^+ \right) + \ln(f_c(\xi_\infty))$$

Ce qui nous permet de déterminer les valeurs des constantes qui nous sont inconnues, $f_c(\xi_\infty)$ et b . Le problème étant qu'il nous est impossible de déterminer la valeur de ξ_0 grâce à cette méthode, on choisit de lire approximativement la valeur de cette constante sur le graphique de la résistance en compression en fonction du degré d'hydratation et prendre pour valeur la valeur pour une résistance en compression nulle :



Ainsi, on choisit $\xi_0 = 0,15$.

Détermination des constantes



On trouve ainsi les valeurs des constantes grâce à l'équation de la droite : $y = 0,467x + 4,062$. La théorie est assez bien respectée avec un coefficient de corrélation assez élevé : $R^2 = 0,915$: $f_c(\xi_\infty) = e^{4,062} = 58,09$

Il nous faut alors calculer la résistance en traction et le module d'Young à l'aide de relation donné par la théorie :

$$f_t(\xi_\infty) = 0,6 + 0,06 \cdot f_c(\xi_\infty) \text{ et } E(\xi_\infty) = 11000 \cdot \sqrt[3]{f_t(\xi_\infty)}$$

On trouve les résultats suivants : $f_t(\xi_\infty) = 4,0854 \text{ MPA}$ et $E(\xi_\infty) = 17584,80459 \text{ MPA}$

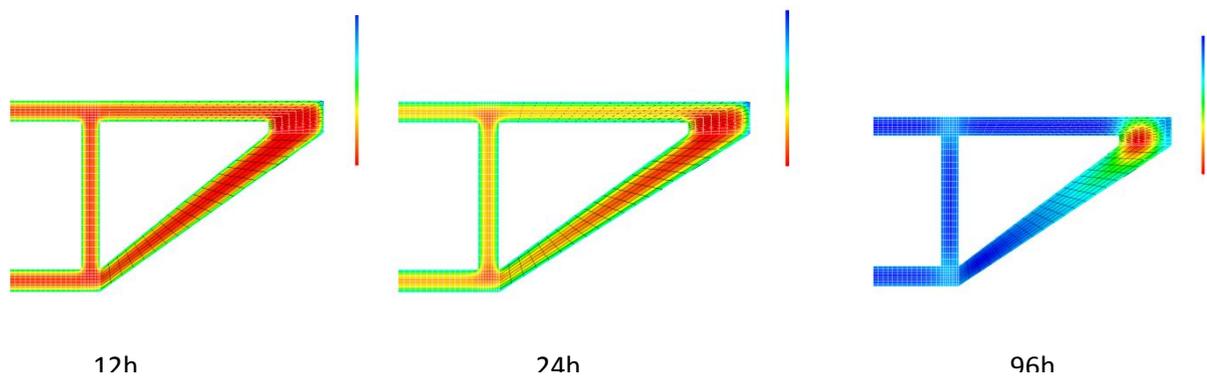
Troisième partie :

On utilise maintenant un logiciel fabriqué par le laboratoire des ponts et chaussées appelé CASTEM, pour travailler avec la forme de notre ouvrage. Il faut tout d'abord calculer la chaleur latente d'hydratation

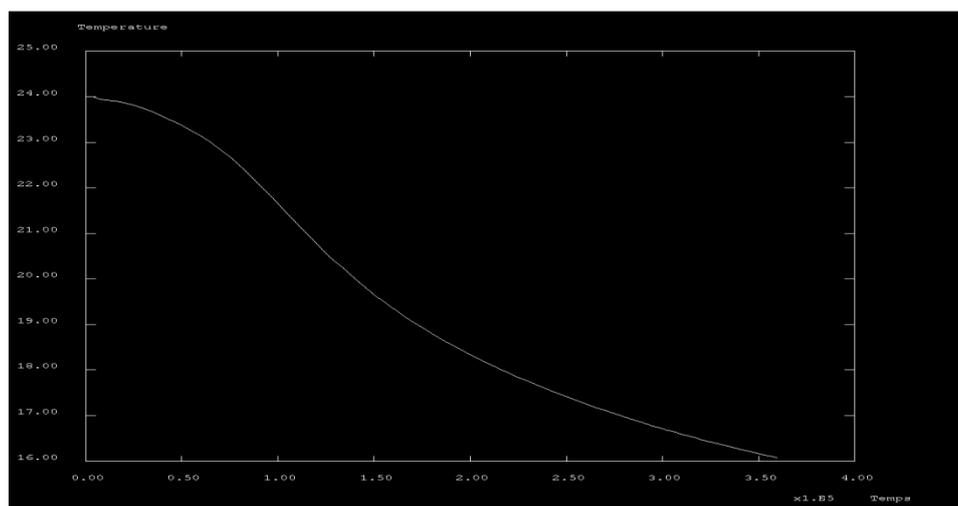
$$L = \frac{C(T_\infty^{ad} - T_0^{ad})}{\xi_\infty}$$

Ainsi $L = -22500000$

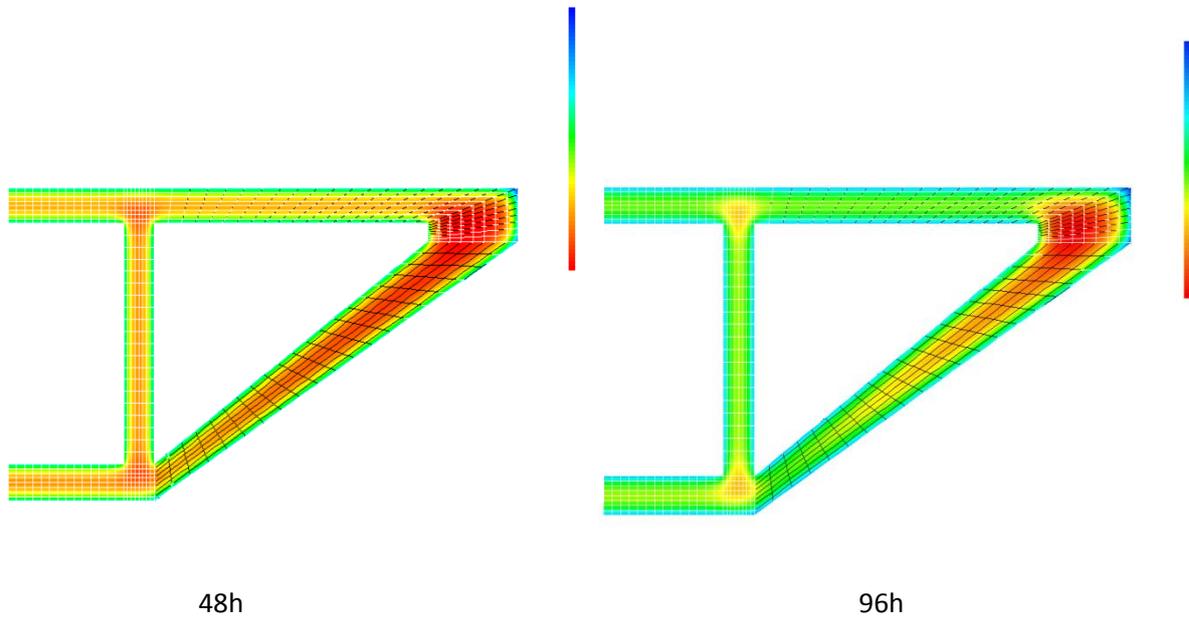
Compte rendu de l'étude sous CASTEM :



Degré d'hydratation en fonction du temps, on remarque ainsi que les zones épaisses prennent plus de temps à s'hydrater, comme le montre la figure à 96h où la partie épaisse reste rouge. Or le degré d'hydratation influe directement sur les propriétés mécaniques de l'ouvrage, et plus ce degré est élevé plus les propriétés mécaniques sont bonnes, mais attention, car un degré trop élevé augmente la probabilité de fissuration de l'ouvrage. Voici le graphique de cette évolution en fonction du temps.



Voici maintenant les courbes de l'évolution de la température :



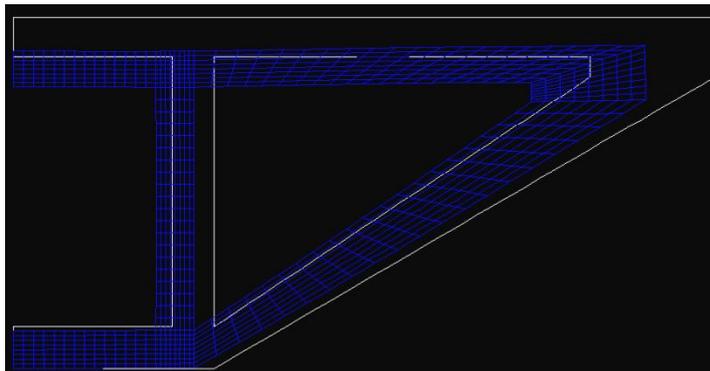
On remarque qu'à l'intérieur de notre ouvrage, la température est encore assez élevée, ceci a des bons et des mauvais côtés, le bon est qu'il accélère et améliore la réaction d'hydratation par contre la température élevée génère des déformations du fait de la dilatation thermique du matériau et va générer des contraintes internes dans le béton sans que celui-ci ne soit soumis à aucune charge.

Calcul Thermomécanique.

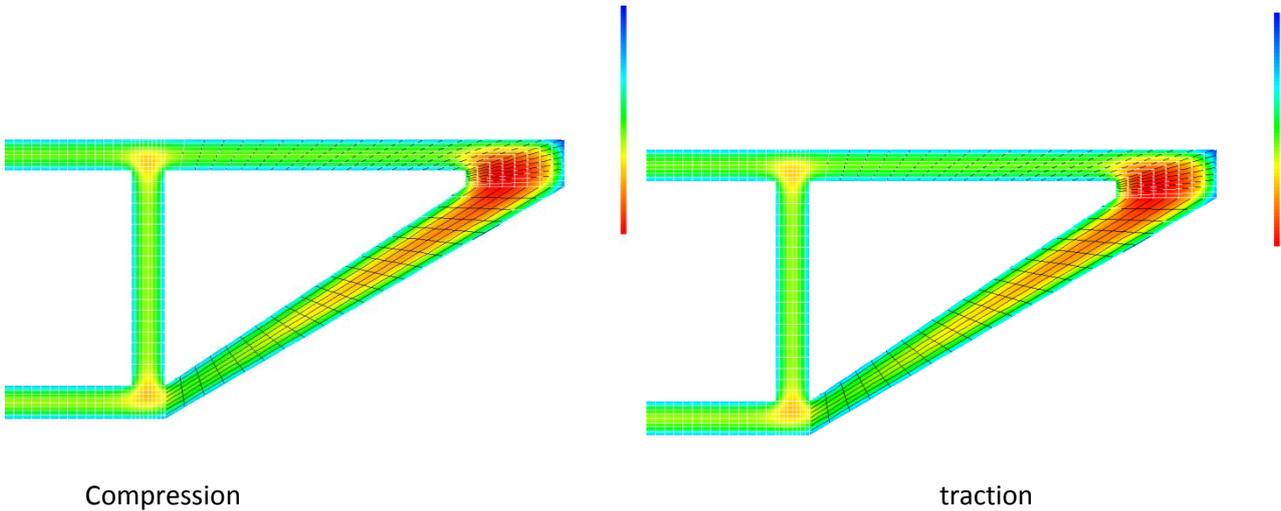
Paramètres pour l'étude trouvés précédemment.

- * Seuil de percolation mécanique ksi0
 $r0 = 0.15;$
- * coefficient de dilatation thermique
 $\alpha1 = 1.5e-5;$
- * Module d'Young a hydratation maximale
 $\text{einf1} = 1.7584e10;$
- * Paramètre b pour l'évolution des propriétés mécanique
 $b1 = 0.467;$
- * résistance en compression hydratation maximale
 $\text{fcinf1} = 58.09e6;$
- * résistance en traction hydratation maximale
 $\text{ftinf1} = 4.09e6;$

L'objectif de ce calcul est de proposer une modélisation concernant la déformée et les contraintes dans le voussoir. Tout d'abord l'image présentant la déformée du voussoir, le modèle propose une déformée assez importante de certaines parties surtout dans les parties supérieures.

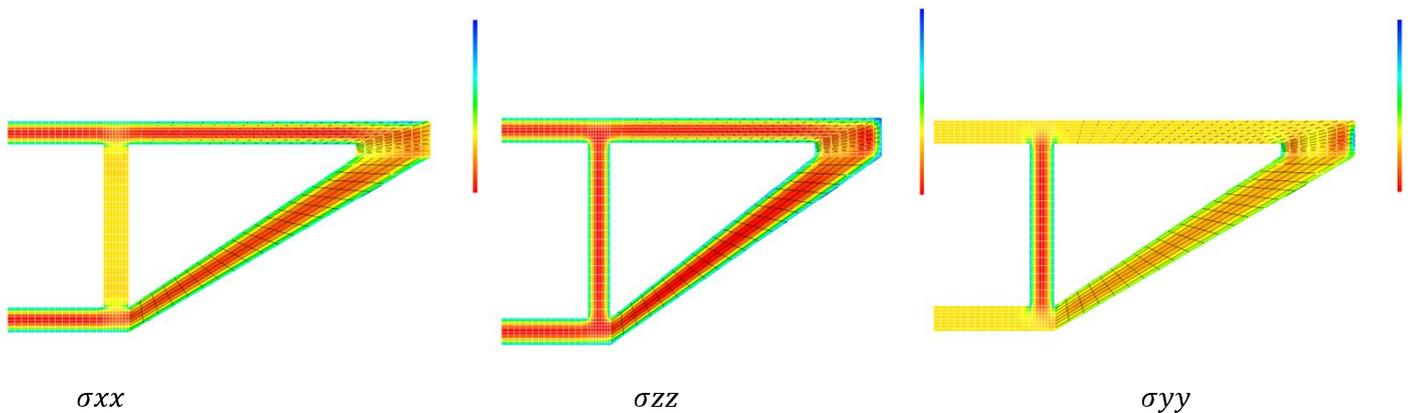


Maintenant, les Iso-valeurs de la résistance en compression et en traction à n heures :



On remarque que les zones de résistance en traction et en compression sont identiques même si la résistance en compression est plus élevée que celle en traction.

Enfin les Iso-valeurs des contraintes avec une fissuration si la valeur du critère est strictement positive.



Le retrait avant-prise est causé par l'évaporation d'une partie de l'eau que contient le béton. Des fissures peuvent s'ensuivre car le béton se trouve étiré dans sa masse.

Après la prise, il se produit :

- Le retrait thermique dû au retour du béton à la température ambiante après dissipation de la chaleur de prise du ciment. On constate une légère diminution de longueur.
- Le retrait hydraulique est dû à une diminution de volume résultant de l'hydratation et du durcissement de la pâte de ciment. Le retrait croît avec la finesse de ciment et le dosage.

Grâce au graphique obtenu en contrainte on remarque qu'il y a risque de fissuration dans les zones rouges, en effet elles correspondent à une valeur positive ainsi à cet endroit le matériau travaille en traction, or le béton se comporte comme un matériau fragile en traction.