
The logo for Cast3M, featuring the text "Cast3M" in white on a black background, with an orange L-shaped graphic element.

Etude des déformations différentielles
d'une éprouvette
de béton en fonction de variations
thermiques

1) Introduction

L'objectif de ce TP, à travers une initiation au logiciel CASTEM, est de réaliser des calculs par la méthode des éléments finis.

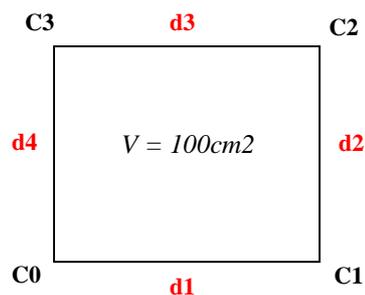
Pour cela nous avons choisi d'apprécier les déformations et contraintes dues aux dilatations différentielles des éléments constitutifs d'une éprouvette de béton soumise à de hautes variations thermiques.

2) Présentation du projet

L'objectif premier est de modéliser une éprouvette de béton en différenciant les éléments constitutifs du béton, à savoir, le squelette granulaire d'une part et la matrice de ciment d'autre part.

A partir d'une méthode mathématique, nous avons tenté de réaliser une répartition optimal des granulats dans une éprouvette de dimension 10x10 :

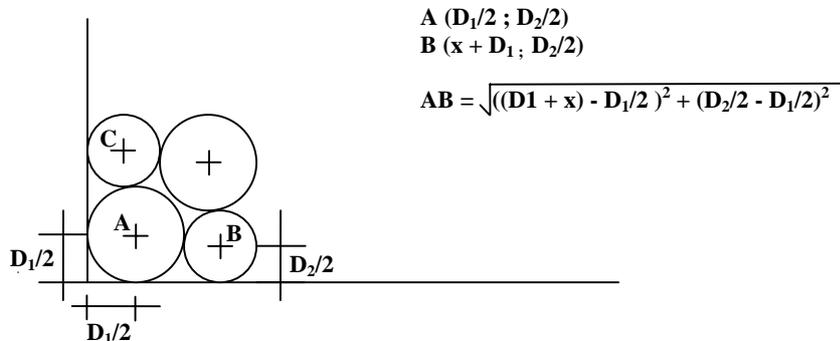
Eprouvette 10x10



Constitution du béton :

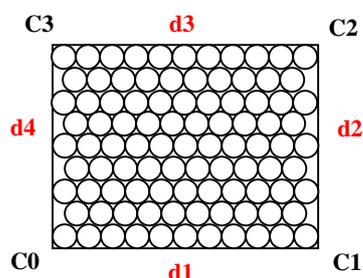
- X % de granulats
- Y % de mortier

Méthode mathématique de répartition :

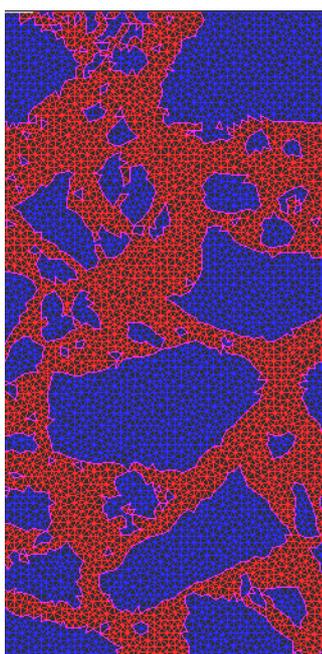


Il s'est avéré au cours des calculs que la détermination d'une répartition optimal des granulats dans l'éprouvette par une résolution mathématique est trop complexe.

De ce fait, après n'avoir trouver aucune solution pour réaliser cette répartition de façon optimal (ou aléatoire), nous avons opter pour une répartition régulière des granulats dans une éprouvette 10 x 10.



A terme, après concertation, nous avons choisi de démarrer la modélisation à partir d'une photographie réelle d'une éprouvette de béton sur lequel fut apposé un maillage. Sur la photo ci-dessous, on distingue clairement le squelette granulaire (couleur bleu) de la pâte de ciment (couleur rouge) :



Le projet finalement retenu est donc de calculer les contraintes et les déformations du à une variation thermique sur la photographie réelle insérée au sein du logiciel.

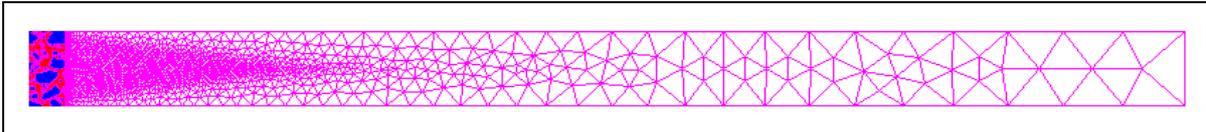
3) Programmation

Par soucis de simplification, l'étude proposé portera sur une modélisation 2D. De plus, le maillage de création se fera par des éléments triangulaires. La programmation sur CASTEM qui en découle est la suivante :

OPTI DIMENSION 2 ELEMENT TRI3 ;

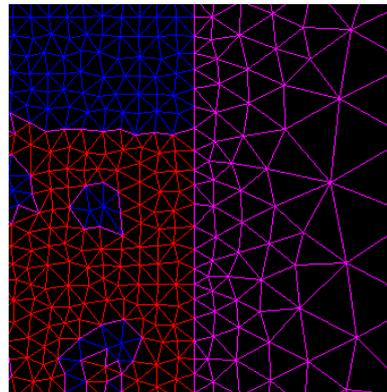
✓ Modélisation

Le maillage de départ étant de dimensions petites pour apprécier des déformations significatives, nous avons opté pour un allongement de la structure béton. La structure ainsi défini admet une longueur de 18cms.



Dans la structure initiale, la pâte de ciment est définie par le maillage su0 et les granulats par le maillage su1.

Afin de faciliter les calculs, l'extension de l'éprouvette a été programmé comme du béton sans distinction des éléments par un maillage progressif. Nous obtenons donc deux parties distinctes dans la structure mais liées par le maillage.



continuité du maillage

Nous avons défini un parallélogramme à droite du modèle à partir de ses points extrêmes droites (p1,p2) et de deux autres points (p3,p4).

Les droites d1, d2, d3 ont été créés avec des valeurs de densités variables afin d'obtenir un maillage progressif.

Pour finir, la surface s1 a été créée à partir des droites d1, d2, d3 et ddro.

```
dens 0.002  
ordon ddro;  
p1=ddro point init;  
p2=ddro point final;  
ordon dgau;  
p5=dgau point init;  
p6=dgau point final;  
p3=0.18 0.;  
p4=0.18 0.0112;  
d1=droi p2 p3 dini 0.001 dfin 0.01;  
d2=droi p3 p4 dini 0.01 dfin 0.01;  
d3=droi p1 p4 dini 0.001 dfin 0.01;  
s1=surf (ddro et d1 et d2 et d3) plane;
```

✓ Modèle – matériaux

Afin de réaliser le calcul thermomécanique, il était nécessaire de faire deux modèles de matériaux différents : un modèle mécanique et un thermique.

Ces modèles sont fonctions du type de calculs envisagés et des caractéristiques des matériaux. Il a donc fallu définir ces deux modèles pour tous les matériaux de la structure (pâte de ciment su0, les granulats su1, et le béton s1).

La définition du modèle se fait à l'aide de l'opérateur MODE

Le modèle mécanique : ce modèle est défini élastique car les calculs de contraintes et déformations se feront dans le domaine élastique uniquement, et isotrope de part la nature des matériaux employés.

Le modèle thermique : il est lui aussi défini isotrope.

*mos1a=mode s1 thermique isotrope cons un;
mos1b=mode s1 mecanique elastique isotrope cons deux;
mosu0a=mode su0 thermique isotrope cons un;
mosu0b=mode su0 mecanique elastique isotrope cons deux;
mosu1a=mode su1 thermique isotrope cons un;
mosu1b=mode su1 mecanique elastique isotrope cons deux;
mos1=mos1a et mos1b;
mosu1=mosu1a et mosu1b;
mosu0=mosu0a et mosu0b;
motot=mos1 et mosu1 et mosu0;*

✓ Caractéristiques matérielles et géométriques

Pour chaque modèle on définit les caractéristiques matérielles, en donnant les valeurs des coefficients nécessaire aux calculs.

Pour le modèle mécanique on donne le coefficient de dilatation thermique le module de young et le coefficient de poisson. Pour le modèle thermique on donne le coefficient de conductivité thermique, la chaleur massique et la masse volumique.

Tous les coefficients employés sont des valeurs prises pour une température de 400°C.

*mats1a=mate mos1a K 2.3 'C' 1000. RHO 2500. ;
mats1b=mate mos1b alpha 13.6E-6 youn 3.E10 Nu 0.2 ;
matsu0a=mate mosu0a K 2.3 'C' 1000. RHO 2500. ;
matsu0b=mate mosu0b alpha -1.6E-5 youn 15.E9 Nu 0.2 ;
matsu1a=mate mosu1a K 2.3 'C' 1000. RHO 2500. ;
matsu1b=mate mosu1b alpha 1.E-5 youn 6.E10 Nu 0.2 ;
mats1=mats1a et mats1b;
matsu0=matsu0a et matsu0b;
matsu1=matsu1a et matsu1b;
matot=mats1 et matsu0 et matsu1;*

✓ Conditions aux limites

Dans cette partie, on impose aux différents éléments les liaisons qui vont caractériser leur comportement mécanique et thermique.

Pour avoir des résultats significatifs on a imposé des conditions aux limites de symétrie sur les maillages su0 su1 et s1, afin d'obtenir une structure infiniment haute. De plus tous les déplacements suivants x ont été bloqués.

Pour les conditions thermiques, on a bloqué la température sur les droites extrêmes de la structure, à savoir dgau et d2.

```
rig1= symt depl rota p5 p4 sutot;  
rig2= symt depl rota p5 p4 s1;  
rig3= symt depl rota p6 p3 sutot;  
rig4= symt depl rota p6 p3 s1;  
rig5= bloq p1 ux;  
rigtot= rig1 et rig2 et rig3 et rig4 et rig5;  
cl1= bloq t dgau;  
cl2= bloq t d2;  
cltot = cl1 et cl2;
```

✓ Températures imposées

A ce niveau on détermine la température initiale de la structure appliquée sur les maillages su0 su1 et s1, ainsi que la température engendrée par le feu et imposée sur les droites dgau et d2.

La définition de ces deux températures permet au programme de définir un gradient thermique nécessaire aux calculs.

De plus on définit une évolution linéaire des températures en fonction du temps.

```
tem0 = manu chpo (su0 et su1 et s1) 1 T 20.;  
tem1= depi cl1 1. ;  
tem2= depi cl2 1. ;  
ev1= evol manu 'x' (prog 0. 900.) 'y' (prog 1. 500.);  
char1 = char timp (tem1 + tem2) ev1;
```

✓ Champ relatif à la procédure pas à pas

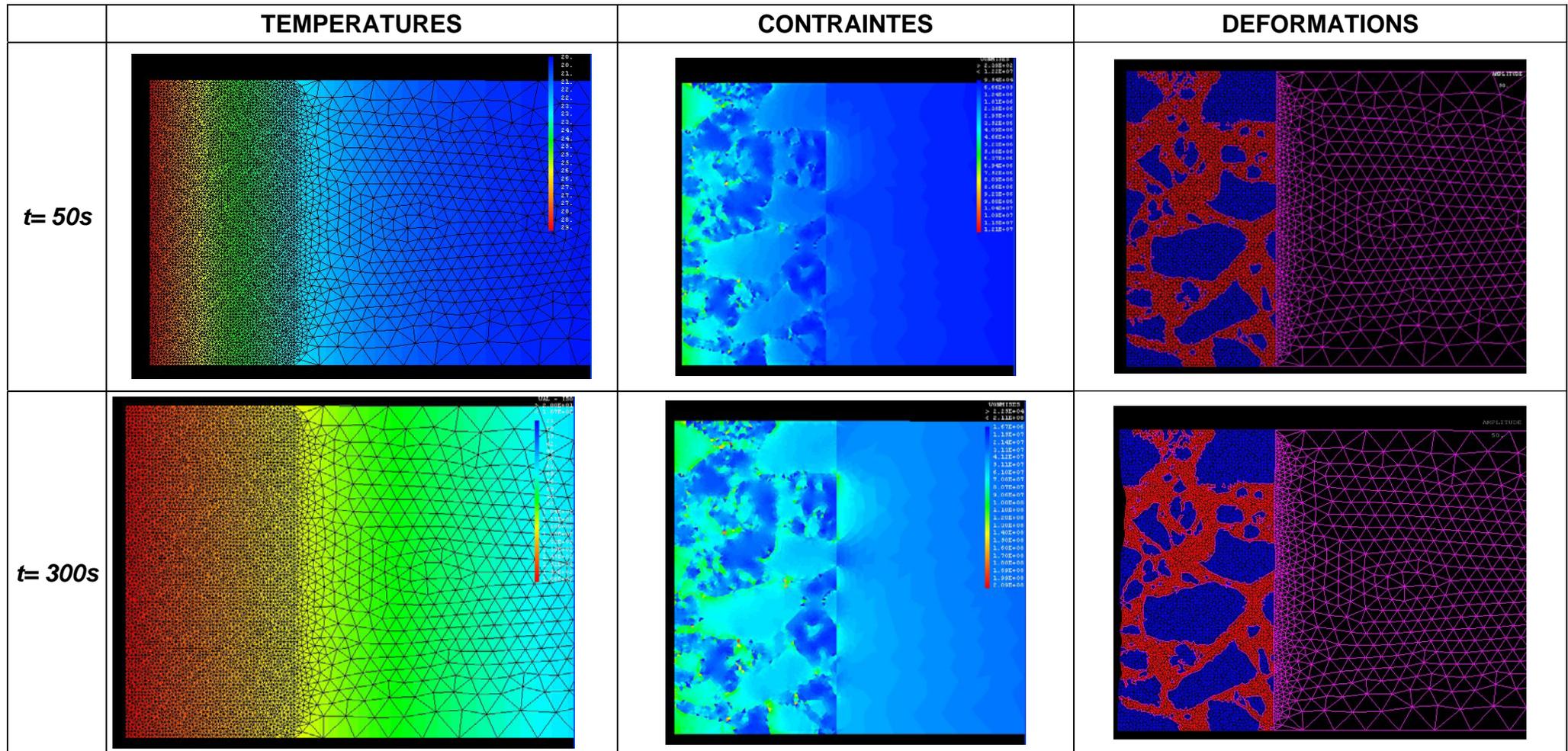
Cette procédure permet de réaliser le calcul. Elle fonctionne par itérations successives pour arriver à la solution pour chaque étape.

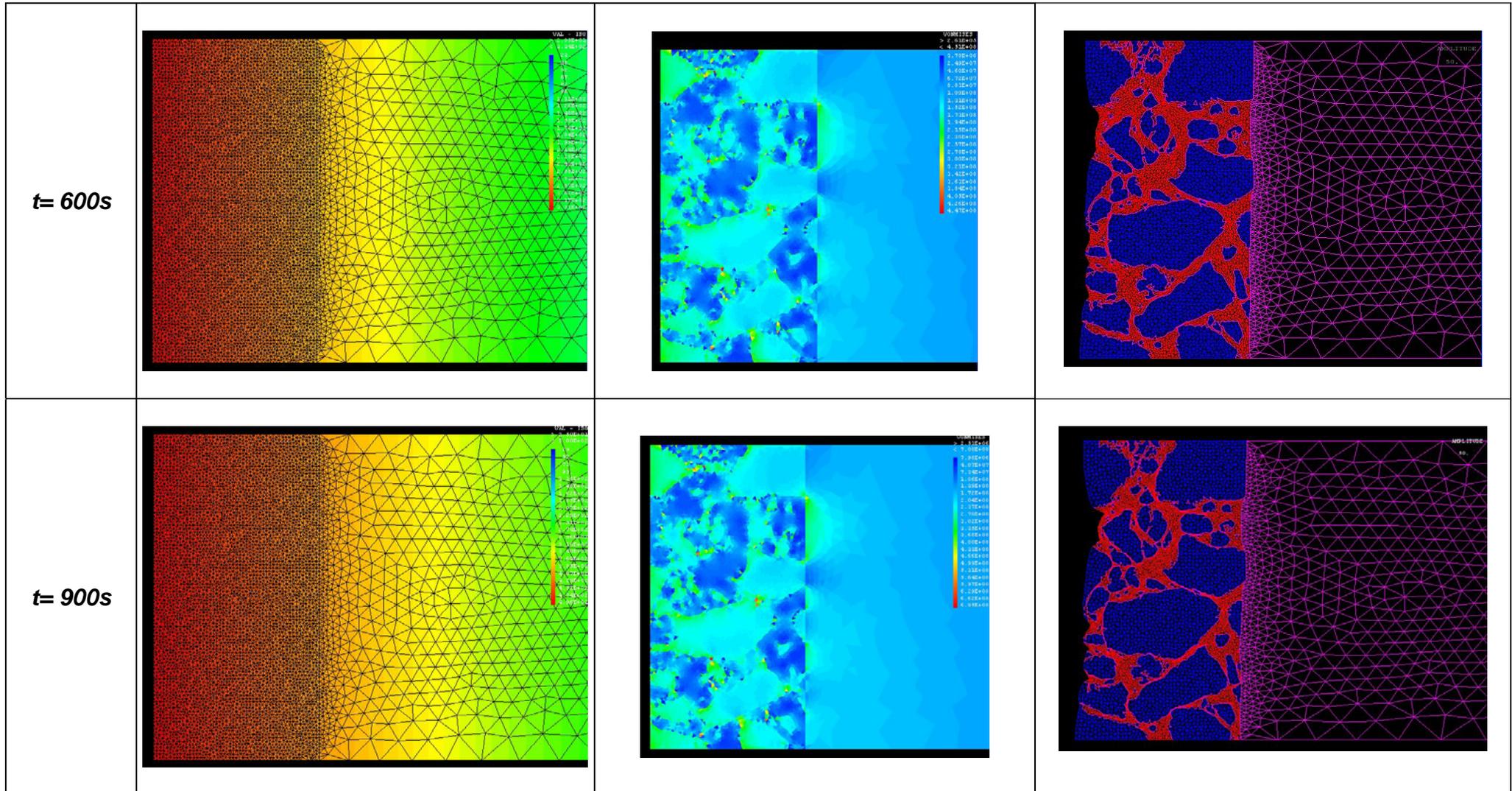
On lui donne les caractéristiques matériaux et matérielles, les blocages thermiques et mécaniques, les conditions de chargement et enfin le temps de calcul en définissant le pas

```
tab1=table;  
tab1.modele=motot;  
tab1.caracteristiques=matot;  
tab1.blocages_mecaniques=rigtot;  
tab1.blocages_thermiques=cltot;  
tab1.temperatures = table;  
tab1.temperatures . 0 = tem0;  
tab1.talpha_reference=20.;  
tab1.chargement=char1;  
tab1.temps_calcules= prog 0. pas 50. 900. ;  
pasapas tab1;
```

4) Interprétation des résultats

Pour une modélisation de feu ayant une température max de 500°C, et appliquées à la structure en 900s (15min), nous avons regardé l'évolution des contraintes et des déformations dans le temps. Nous ne présenterons ici que les résultats de quelques étapes :





Au vue des résultats obtenus, on remarque le comportement différent des éléments constitutifs du béton. Même si le béton est considéré comme homogène pour les calculs, ici pour les calculs au feu cette hypothèse n'est plus valable.

En effet, la pâte de ciment aura tendance à se rétracter sous l'effet de la chaleur croissante alors que les granulats eux se dilateront.

Cette différence de comportement entraîne d'importantes contraintes concentrées au niveau de l'interface granulats et pâte de ciment. Cependant les valeurs de contraintes que fournit Cast3M ne sont pas significatives car on ne prend pas en compte les fissurations du béton qui relâcheraient les contraintes internes et donc diminueraient leurs valeurs.

Le comportement de la pâte de ciment est plus facilement appréciable sur les dessin de la déformée ou apparaît le raccourcissement de l'éprouvette.

5) Conclusion

Cette initiation à CASTEM nous a permis d'apprécier le potentiel de la méthode des éléments finis à travers un logiciel de recherche complet.

Cependant , nous avons rencontré de nombreux problèmes de programmation qui restent difficilement réglables avec comme seul support d'aide, le site Internet de CASTEM. Il est évident que ce site doit être très complet mais il nous paraît peu abordable pour une initiation à CASTEM.

Toutefois, l'étude des déformations et des contraintes sur une éprouvette en béton monté en température fut très enrichissante et très intéressante. Nous avons pu ainsi bien comprendre le phénomène de rétractation de la pâte de ciment et noter que les contraintes les plus importantes se situées à la jonction entre la pâte de ciment et les granulats.

matsu0=matsu0a et matsu0b;
 matsu1=matsu1a et matsu1b;
 matot=mats1 et matsu0 et matsu1;

*

*

```

=====
*                                     *
*                               conditions aux limites                               *
*                                     *
=====
*
    
```

rig1= symt depl rota p5 p4 sutot;
 rig2= symt depl rota p5 p4 s1;
 rig3= symt depl rota p6 p3 sutot;
 rig4= symt depl rota p6 p3 s1;
 rig5= bloq p1 ux;
 rigtot= rig1 et rig2 et rig3 et rig4 et rig5;
 cl1= bloq t dgau;
 cl2= bloq t d2;
 cltot = cl1 et cl2;

*

*

```

=====
*                                     *
*                               Températures imposées                               *
*                                     *
=====
*
    
```

tem0 = manu chpo (su0 et su1 et s1) 1 T 20.;
 tem1= depi cl1 1. ;
 tem2= depi cl2 1. ;
 ev1= evol manu 'x' (prog 0. 900.) 'y' (prog 1. 500.);
 char1 = char timp (tem1 + tem2) ev1;

*

*

```

=====
*                                     *
*                               champs relatifs a la procedure PASAPAS                               *
*                                     *
=====
*
    
```

tab1=table;
 tab1.modele=motot;
 tab1.caracteristiques=matot;
 tab1.blocages_mecaniques=rigtot;
 tab1.blocages_thermiques=cltot;
 tab1.temperatures = table;
 tab1.temperatures . 0 = tem0;
 tab1. talpha_reference=20.;
 tab1.chargement=char1;
 tab1.temps_calcules= prog 0. pas 50. 900. ;
 pasapas tab1;