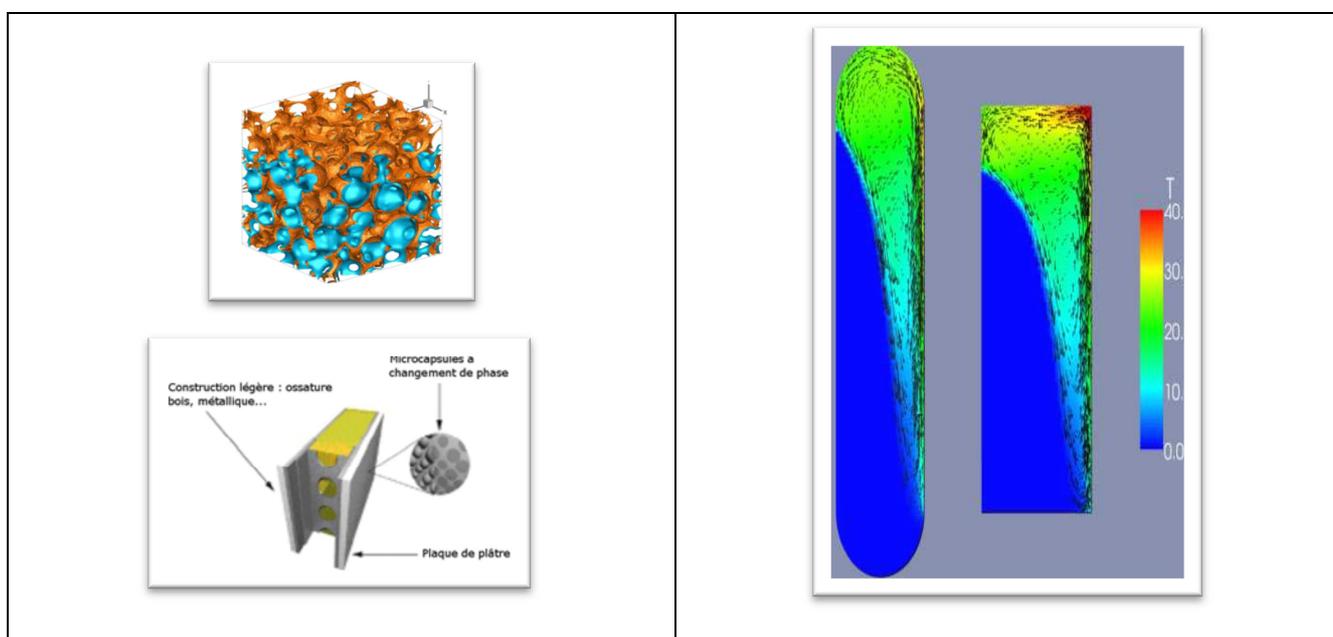


Projet Castem

Matériau à changement de phase

Enseignant : Christian Laborderie

Pascal Raffaud – ISA 5



CONTENU

1.	Présentation des logiciels utilisés	2
2.	Présentation des matériaux à changement de phase	2
a)	Principe du changement de phase	2
b)	Intérêt du changement de phase	3
c)	Intégration aux matériaux de construction	3
3.	Programme Cast3M	4
a)	Mur avec MCP	4
b)	Mur sans MCP	13
4.	Bilan	15

1. Présentation des logiciels utilisés

▲ LOGICIEL CASTEM

Lien : <http://www-cast3m.cea.fr/index.php>

Cast3M est un code de calcul pour l'analyse de structures par la méthode des éléments finis (E.F) et la modélisation en mécanique des fluides.

Ce logiciel permet de traiter des problèmes d'élasticité linéaire dans les domaines statique et dynamique (extraction de valeurs propres), des problèmes de thermique, des problèmes non linéaires (comportements, grands déplacements, grandes déformations, contact, frottement...), des problèmes dynamiques « pas-à-pas » selon un schéma implicite, la ruine des structures, problèmes couplant calculs fluides et structuraux, etc.

Cast3M possède un langage de commande constitué d'une série d'opérateurs permettant à l'utilisateur de manipuler les données et les résultats sous forme d'objets en leur donnant des noms : c'est le langage Gibiane. Aux objets classiquement disponibles dans les langages informatiques usuels (entier, flottant, table...) vient s'ajouter une bibliothèque d'objets propres à la modélisation par éléments finis : maillage, modèle, rigidité ce qui permet à Gibiane d'être à la fois un langage de programmation et de modélisation.

Le GIBIANE est donc un langage de haut niveau permettant, en particulier, un échange aisé d'informations entre l'utilisateur et le programme

▲ LOGICIEL CRIMSON EDITOR

Crimson Editor est un éditeur de texte gratuit créé par M. Ingyu Kang et fonctionnant sous Microsoft Windows. Il permet d'éditer du code source de différents langages de programmation, du HTML ou d'autres formats de fichiers texte en utilisant une coloration syntaxique paramétrable. Il permet d'éditer des fichiers encodés en Unicode et de faire des éditions directement en FTP.

Dans notre cas, on s'en sert pour taper les lignes de code que l'on fera exécuter par Cast3M.

2. Présentation des matériaux à changement de phase

On appelle matériau à changement de phase - ou MCP - tout matériau capable de changer d'état physique dans une plage de température restreinte.

a) Principe du changement de phase

Tout matériau, solide ou liquide (ou gazeux) possède une capacité à stocker ou céder de l'énergie sous forme de chaleur. On distingue 2 types de transfert de chaleur (ou transfert thermique) :

- Le transfert thermique par Chaleur Sensible (CS) : dans ce cas, le matériau en question peut céder ou stocker de l'énergie en voyant varier sa propre température, sans pour autant changer d'état. La grandeur utilisée pour quantifier la CS échangée par un matériau est la Chaleur Massique, notée C_p et exprimée en $J/(kg.K)$
 - Le transfert thermique par Chaleur Latente (CL) : dans ce cas, le matériau peut stocker ou céder de l'énergie par simple changement d'état, tout en conservant une température constante, celle du changement d'état. La grandeur utilisée pour quantifier la CL échangée par un matériau est
-

la Chaleur Latente de Changement de Phase notée L_f (f pour fusion) pour un changement de phase Liquide/Solide, et L_v (v pour vaporisation) pour un changement de phase Liquide/Vapeur. Celle-ci est exprimée en J/kg.

b) Intérêt du changement de phase

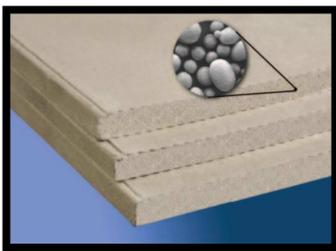
Le caractère isotherme ou quasi isotherme de la charge et de la décharge énergétique d'un MCP permet son utilisation en tant que régulateur de température : en effet, si l'on intègre ce dernier à l'enveloppe (murs extérieurs, plancher, plafond, ...) d'un bâtiment, il devient alors possible de stocker de la chaleur lorsque celle-ci est surabondante (été) ou présente au mauvais moment (dans la journée l'hiver).

- En été, l'énergie solaire apportée au cours de la journée est stockée au fur et à mesure par les parois et ce, sans fluctuation excessive de la température à l'intérieur du bâtiment. Il est alors possible d'écarter de 3 °C à 5 °C les pics de température d'une pièce.
- En hiver, on peut de la même manière stocker la chaleur apportée par le soleil dans les MCP incorporés aux parois ; ceux-ci restitueront la chaleur accumulée dans la journée à la fin de la journée et pendant la nuit.

Par ailleurs, tout MCP peut servir de déphaseur thermique : tout apport ou perte énergétique (variation de température, rayonnement solaire,...) en provenance du milieu ambiant peut provoquer la fusion ou la cristallisation du matériau à température quasi constante. Dès lors, le milieu situé de l'autre côté du MCP ne ressent pas aussitôt l'effet de cet apport ou de cette perte, mais ne commencera à le ressentir qu'après la fusion ou la cristallisation totale du matériau.

c) Intégration aux matériaux de construction

Le changement de phase a lieu selon les matériaux entre 19 et 27°C, températures correspondant aux valeurs limites respectivement fixées pour le confort d'hiver et d'été. Les MCP (paraffine, polymère, acide gras...) peuvent être incorporés dans les matériaux de construction (plâtre, béton, certains plastiques) et même dans une matrice de graphite, qui a l'avantage d'avoir une excellente conductivité thermique. Les paraffines, chimiquement stables, sont les substances les plus répandues.



Elles peuvent être conditionnées dans des billes de plastique microscopique (microencapsulation) mélangées au plâtre ou au béton, ou bien incorporées dans les pores d'un matériau porteur (imprégnation), ce qui permet de les rajouter lors d'une rénovation. 3 cm d'enduit contenant 30 % de MCP sont équivalents à 18 cm de béton ou 23 cm de brique en termes d'inertie thermique.

Les MCP sont indestructibles, inertes et non toxiques ; ils ne nécessitent pas de maintenance. Outre les parois constitutives des bâtiments, les MCP peuvent aussi être intégrés dans les faux plafonds. Le CSTB précise qu'un système de ventilation nocturne optimise le relargage des calories, ce qui permet de régénérer plus efficacement les MCP.

3. Programme Cast3M

L'objectif de ce programme est d'observer l'influence des matériaux à changement de phase sur l'évolution des températures à l'intérieur d'une paroi.

a) Mur avec MCP

<p>OPTI DIME ≥ ELEM TRI₃;</p> <p>DENSITE 2.E-2;</p>	<p>La directive OPTION sert à préciser des options générales de calcul.</p> <p>'DIME' dimension de l'espace</p> <p>'ELEM' élément à fabriquer</p> <p>La directive DENSITE sert à définir, par défaut, la taille locale de la maille s'appuyant sur les points à construire</p>
<p>eBA= 0.013;</p> <p>ePCM= 0.005;</p> <p>eISO= 0.05;</p> <p>eBET= 0.10;</p> <p>H=1.;</p>	<p>On définit ici les dimensions des composants en mètre :</p> <ul style="list-style-type: none"> - eBA, l'épaisseur du béton armé - ePCM, l'épaisseur du matériau à changement de phase - eISO, l'épaisseur de l'isolant - eBET, l'épaisseur du béton - H, la hauteur de la section
<p>K1=0.325;</p> <p>RHO1=816.;</p> <p>C1=1400.;</p> <p>K2 = EVOL MANU 'T' (PROG -100. 14. 21. 22. 30. 100.) 'K' (PROG 0.18 0.18 0.175 0.145 0.145</p>	<p>Les caractéristiques des matériaux sont ensuite renseignées</p>
	<p>BA13</p>
	<p><u>Conductivité thermique W/(m.K)</u> : Elle représente l'énergie (quantité de chaleur) transférée par unité de surface et de temps sous un gradient de température de 1 kelvin par mètre. Notée λ (ou k en anglais).</p> <p><u>Masse volumique kg/m³</u></p> <p><u>Capacité spécifique J/(kg.K)</u> : La capacité thermique massique (symbole c ou s), anciennement appelée chaleur massique ou chaleur spécifique, est déterminée par la quantité d'énergie à apporter par échange thermique pour élever d'un kelvin la température de l'unité de masse d'une substance.</p>
	<p>CPM Micronal® ou Energain®</p>
	<p><u>Conductivité thermique W/(m.K)</u>. Celle-ci est programmée afin de varier en fonction de la température du CPM :</p>

0.145);

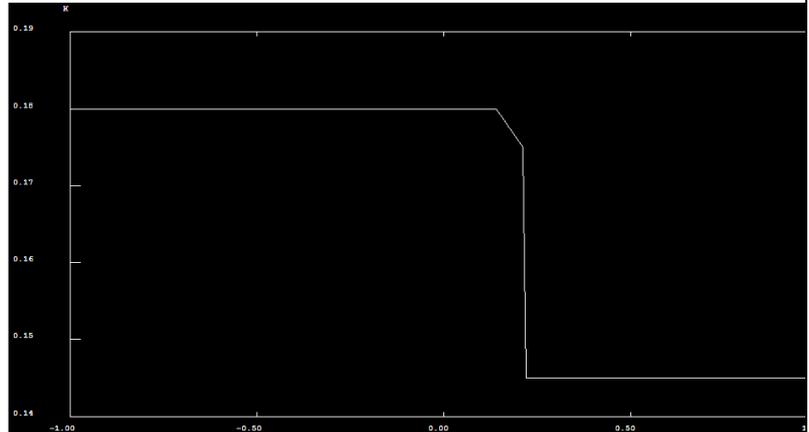
RHO2=EVOL MANU 'T' (PROG -100. 14. 21. 22. 30. 100.)'RHO' (PROG 900. 900. 895. 850. 845. 845.);

C2=385.;

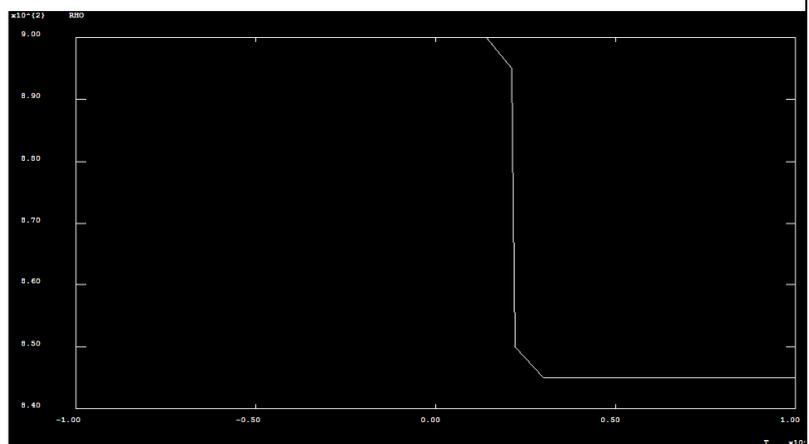
Tfus=21.7;

Qlat=70.e3;

- L'opérateur **EVOL** définit l'évolution d'une (ou plusieurs) grandeur(s) en fonction d'un paramètre. Le résultat est un objet de type EVOLUTION.
- L'option **MANU** permet de définir une fonction à partir de deux listes de réels, ici 'T' et 'K'.



Masse volumique kg/m³. Celle-ci aussi est programmée pour varier en fonction de la température du CPM

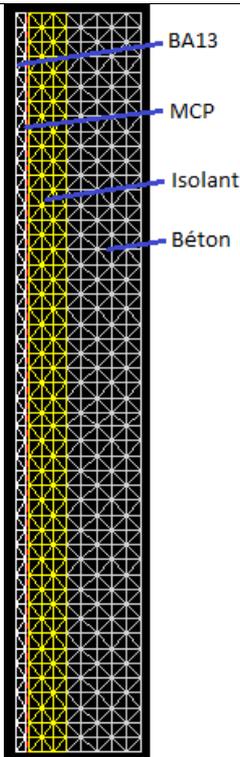


Capacité spécifique J/(kg.K)

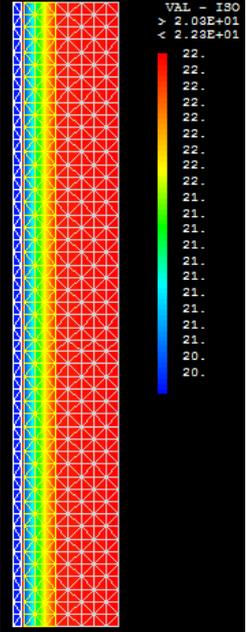
Température de fusion °C: Le point de fusion ou la température de fusion d'un corps représente la température à une pression donnée, à laquelle un élément pur ou un composé chimique passe de l'état solide à l'état liquide.

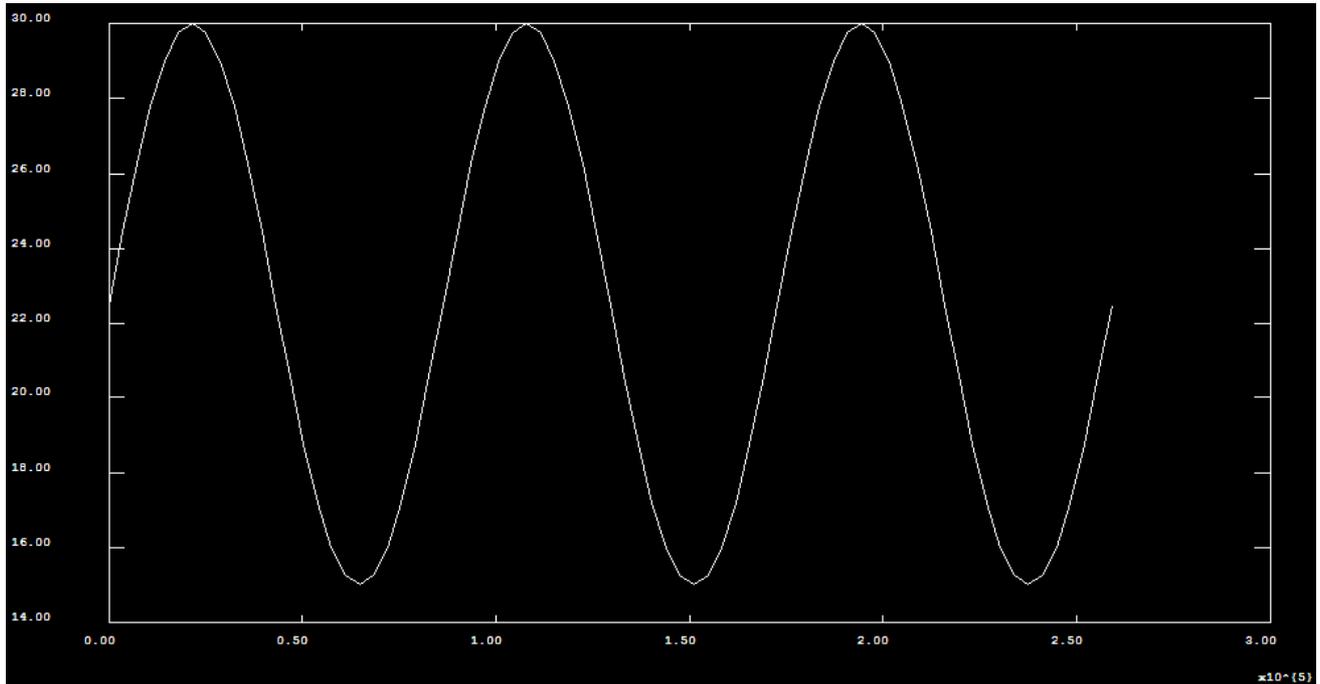
Chaleur latente J/kg: C'est la chaleur δQ échangée avec le milieu extérieur lors d'un changement d'état : solidification, fusion, ébullition... Elle est notée L. Lorsqu'elle est exprimée pour 1 Kg de matière, c'est la chaleur latente massique.

$K_3=0.040;$ $RHO_3=11;$ $C_3=660.;$	<p style="text-align: center;">Laine de verre</p> Conductivité thermique W/(m.K) Masse volumique kg/m ³ Capacité spécifique J/(kg.K)
$K_4=2;$ $RHO_4=2300;$ $C_4=790.;$	<p style="text-align: center;">Béton</p> Conductivité thermique W/(m.K) Masse volumique kg/m ³ Capacité spécifique J/(kg.K)
$Hint=5.;$ $Hext=8.;$	<u>Coefficients de convection intérieure et extérieure</u> : Ils permettent de quantifier un transfert de chaleur réalisé par un phénomène de convection au sein d'un fluide en mouvement.
$Tint=20.;$ $Text=22.5;$	<u>Températures initiales intérieurs et extérieurs</u> On définit un cas initial en définissant des valeurs de températures arbitrairement.
$p_1=0. 0.;$ $p_2=eBA 0.;$ $p_3=(eBA+ePCM) 0.;$ $p_4=(eBA+ePCM+eISO) 0.;$ $p_5=(eBA+ePCM+eISO+eBET) 0.;$	<u>Définition des points</u> : On définit chaque point en donnant une première coordonnée sur x et une seconde sur y.
$d_1= p_1 \text{ droi } p_2;$ $d_2= p_2 \text{ droi } p_3;$ $d_3= p_3 \text{ droi } p_4;$ $d_4= p_4 \text{ droi } p_5;$	<u>Création des droites</u> : L'opérateur DROIT construit le segment de droite joignant les deux points précisés.

<pre>vec1= 0. H; s1=d1 TRAN vec1 COUL blan; N1=D1 NBEL; N2=S1 NBEL; N3=N2/N1/2; s2=d2 TRAN N3 vec1 COUL roug; s3=d3 TRAN N3 vec1 COUL jaun; s4=d4 TRAN N3 vec1 COUL gris;</pre>	<p><u>Création des surfaces</u> : On définit un vecteur avec ses coordonnées \vec{X} et \vec{Y}</p> <p>Ensuite l'opérateur TRANSLATION construit la surface engendrée par la translation d'une ligne suivant un vecteur donné, ici vec1.</p> <p>L'opérateur COUL duplique un objet OBJ1 en lui attribuant une couleur choisie.</p> <p>L'opérateur NBEL donne le nombre d'éléments contenus dans une géométrie. En effet, pour éviter d'avoir un nombre d'éléments différents entre les surfaces et avoir ainsi des discontinuités, on va calculer N_3 le nombre d'éléments verticaux de S_1 (on divise par 2 car on est en TRI₃) et dire que l'on veut ce même nombre pour les autres surfaces.</p> 
<pre>dint=s1 cote 4; dext=s4 cote 2; stot= s1 et s2 et s3 et s4; cont1=CONTOUR stot; elim stot;</pre>	<p><u>Définition des droites en contact avec le milieu intérieur et extérieur et de la surface totale</u></p> <p>L'opérateur CONTOUR définit le contour d'un objet</p> <p><u>Suppression des points en double sur le maillage</u></p> <p>La directive ELIM remplace dans le maillage stot tous les nœuds distants de moins d'une valeur définie par un seul point. Si cette valeur n'est pas fournie, le programme prend le dixième de la densité courante.</p>
<pre>mod1=MODE s1 'THERMIQUE';</pre>	<p><u>Modélisation thermique</u></p> <p>L'opérateur MODE (MODELISER) permet d'associer à un maillage un modèle de comportement du matériau. Ici, on a seulement besoin de préciser que l'on modélise en THERMIQUE, la conduction étant le comportement par défaut.</p> <p>L'opérateur MATE (MATERIAU) crée un champ de propriétés matérielles. On rattache à cet opérateur les propriétés de chaque matériau définis précédemment à sa surface.</p> <p>Surface 1 = BA13</p>

<p>mat1=MATE MOD1 'K' K1 'RHO' RHO1 'C' C1;</p> <p>mod2=MODE s2 'THERMIQUE' 'PHASE';</p> <p>mat2=MATE MOD2 'K' K2 'RHO' RHO2 'C' C2 'TPHA' TfUs 'QLAT' Qlat;</p> <p>mod3=MODE s3 'THERMIQUE';</p> <p>mat3=MATE MOD3 'K' K3 'RHO' RHO3 'C' C3;</p> <p>mod4=MODE s4 'THERMIQUE';</p> <p>mat4=MATE MOD4 'K' K4 'RHO' RHO4 'C' C4;</p>	<p>Surface 2 = MCP</p> <p>Comme il y a changement de phase dans le MCP ce comportement doit être mentionné. C'est une extension non linéaire de la conduction.</p> <p>Surface 3 = Isolant laine de verre</p> <p>Surface 4 = Béton</p>
<p>moconvi= MODE dint 'THERMIQUE' 'CONVECTION';</p> <p>maconvi= MATE MOCONVi 'H' Hint;</p> <p>moconve= MODE dext 'THERMIQUE' 'CONVECTION';</p> <p>maconve= MATE MOCONVe 'H' Hext;</p>	<p><u>Modèles de convection</u></p> <p>Le phénomène de convection entre milieu externe et paroi et un comportement spécifique et doit être mentionné par l'extension CONVECTION</p> <p>Convection intérieure</p> <p>Convection extérieure</p>
<p>flint=convec moconvi maconvi 'T' Tint ;</p> <p>flex=convec moconve maconve 'T' Text ;</p>	<p><u>Flux traversant le matériau</u></p> <p>Flux intérieur</p> <p>Flux extérieur</p>
<p>moconv=(moconvi et moconve);</p> <p>maconv=(maconvi et maconve);</p>	<p><u>Regroupement des modes de convection et de conduction</u></p>

<pre> convtot=cond moconv maconv; motot=mod1 et mod2 et mod3 et mod4 et moconv; matot=mat1 et mat2 et mat3 et mat4 et maconv; chto=manu chpo stot 1 'T' 22.5; matv=vari nuag motot matot chto; </pre>	<p>L'opérateur MANU avec le mot-clé 'CHPO' construit un champ par point.</p> <p>L'opérateur VARI calcule un champ variable à partir d'un champ donné et d'une loi de variation donnée sous la forme d'une fonction.</p> <p>L'option NUAG est nécessaire si la composante elle-même est décrite par un objet de type EVOLUTION.</p>
<pre> condtot= cond motot matv; fltot=flint et flxt; chtemp1=resou condtot fltot; gradt=grad chtemp1(mod1 et mod2 et mod3 et mod4); chgrad=chan chpo gradt(mod1 et mod2 et mod3 et mod4); vec9=vect chgrad 'T,X' 'T,Y'; bilan=convtot*chtemp1-fltot; </pre>	<p>On va dans un premier temps résoudre le problème sans faire varier la température extérieure pour avoir des valeurs initiales pour la résolution en fonction des changements de températures.</p> <p>L'opérateur RESO construit une solution, si elle existe, du système linéaire.</p> <p>L'opérateur GRAD calcule les gradients du champ de température défini.</p> 
<pre> progt=prog o. pas 3600. (3600.*24*3); n1=dime progt; progText= prog n1 * Text; progth= (7.5*(sin (progt*360/(3600*24)))) + progText; evolth=evol manu progt progth; </pre>	<p><u>Résolution en fonction du temps</u></p> <p>Valeurs de temps sur 3 jours avec un pas de 1h</p> <p>L'opérateur DIMENSION fournit la dimension sous forme d'un entier d'un objet donné.</p> <p>Evolution de la température</p> <p>Relation entre temps et température</p>



Evolution de la température extérieure entre 15 et 30°C sur 3 jours

```
flint=manu chpo Dint 1 'T' 1 nature diffus;
```

```
flect=manu chpo Dext 1 'T' 1 nature diffus;
```

Flux traversant le matériau

Flux intérieur

'NATURE' est un mot-clé attribuant le nature du champ. Par défaut, elle est indéterminée et on va par conséquent la modifier en diffus.

Flux extérieur

```
prog1=prog 15. pas 0.25 30.;
```

```
tfin=extr prog1 n1;
```

```
prog1=prog 0. tfin;
```

```
prog2=prog tint tint;
```

```
EVOL2=EVOL MANU PROG1 PROG2;
```

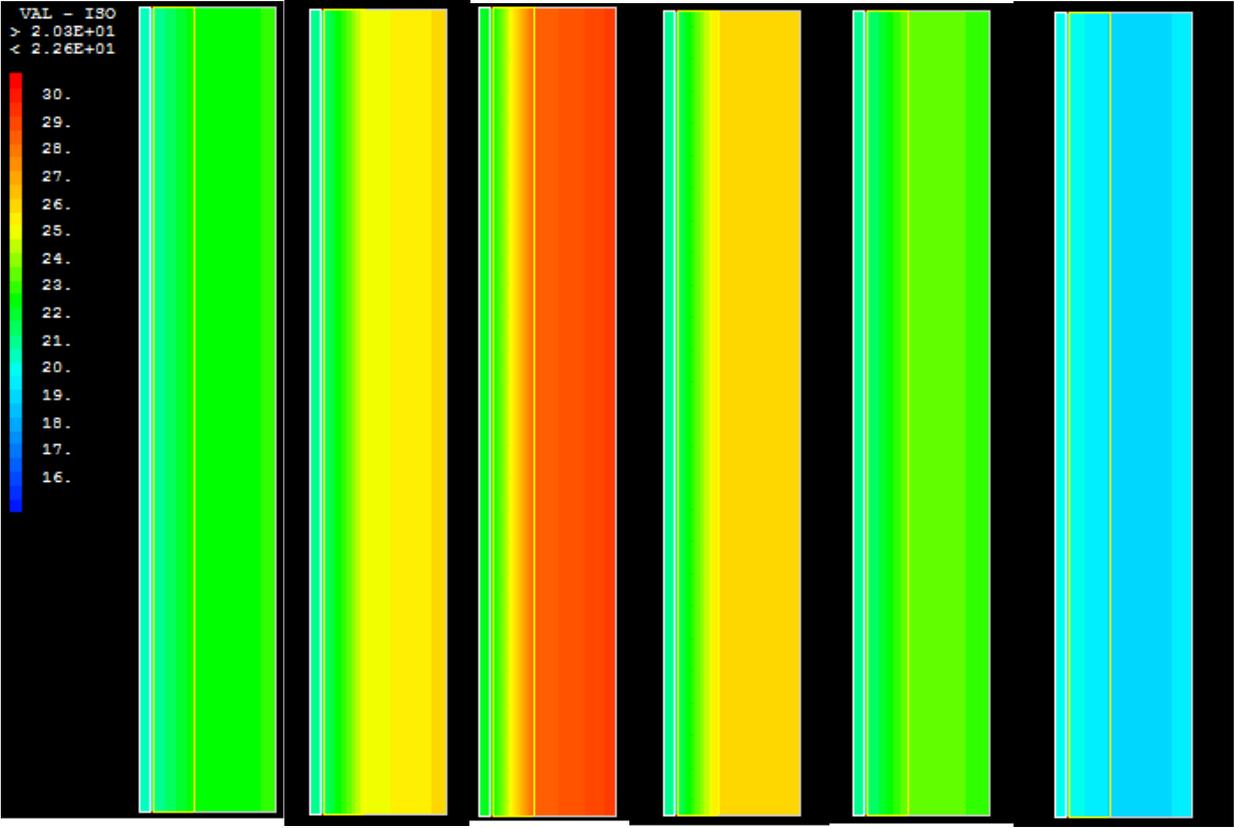
```
CHAR1=CHAR flint EVOL2 'TECO';
```

```
CHAR2=CHAR flect evolth 'TECO';
```

Création des chargements des températures

Chargement intérieur avec température constante sur toute la durée du test.

Chargement extérieur qui évolue en fonction de la température extérieure.

<pre> To=CHTEMP1; TAB1=TABLE; TAB1.TEMPERATURES=TABLE; TAB1.TEMPERATURES.o=To; TAB1.MODELE=MOTOT; TAB1.CARACTERISTIQUES=MATOT; TAB1.CHARGEMENT=char1 et char2; TAB1.TEMPS_CALCULES=progt; PASAPAS TAB1; </pre>	<p><u>Création de la table</u></p> <p>En thermique, la procédure PASAPAS permet d'effectuer un calcul linéaire et non-linéaire en tenant compte de la conduction, de la convection et du rayonnement.</p>
<pre> N1=DIME (TAB1 . TEMPS_CALCULES) - 1 ; REPETER BOU1 N1; Fin BOU1; </pre>	<p><u>Tracé des températures dans le matériau pour chaque pas de temps</u></p> <p>On crée une boucle avec l'opérateur REPETER qui va répéter N1 fois l'exécution de l'ensemble des instructions.</p>
 <p>VAL - ISO > 2.03E+01 < 2.26E+01</p> <p>30. 29. 28. 27. 26. 25. 24. 23. 22. 21. 20. 19. 18. 17. 16.</p> <p><u>Evolution de la température dans le mur à différents instants pendant la première période</u></p>	

```

n1=dime tab1.temperatures;
progint=prog;
progext=prog;
progt=prog;
repete bou1 n1;
    i=&bou1 - 1;
    t1=tab1.temps.i;
    temp1=redu tab1.temperatures.i Dint ;
    text=ipol evolth t1;
    temp2=redu tab1.temperatures.i Dext ;
    tempint=manu chpo dint 'T' Tint;
    tempext=manu chpo dext 'T' Text;
    FL1=HINT*(temp1 - tempint);
    FL2=HEXT*(temp2 - tempext);
    evint=evol chpo fl1 dint;
    evext=evol chpo fl2 dext;
    prog1=somme evint;
    prog2=somme evext;
    XFL1=extr prog1 1;
    XFL2=extr prog2 1;
    progint = inse progint xfl1 &bou1;
    progext = inse progext xfl2 &bou1;
    progt=inse progt t1 &bou1;
fin bou1;
evolint=evol 'ROUG' manu progt progint;
evolext=evol 'BLEU' manu progt progext;
@excel1 evolint evolint.csv;
@excel1 evolext evolext.csv;
flutos= somme evolint;

```

Nombre d'éléments de températures


 Création de listes vides

Lancement de la boucle

Décalage grâce au -1 pour avoir la valeur à 0.

L'opérateur **REDU** réduit un champ par points aux valeurs non nulles d'un CHPOINT

Calcul des flux

Le flux de chaleur en convection s'exprime par $\phi = H * (T_2 - T_\infty)$. On a donc un premier flux sur dint qui est la droite d'interface paroi/intérieur et un deuxième flux sur dext qui est la droite d'interface paroi/extérieur

L'opérateur **EXTRAIRE** permet d'extraire de l'objet prog1 le composant d'indice 1. De même pour prog2.

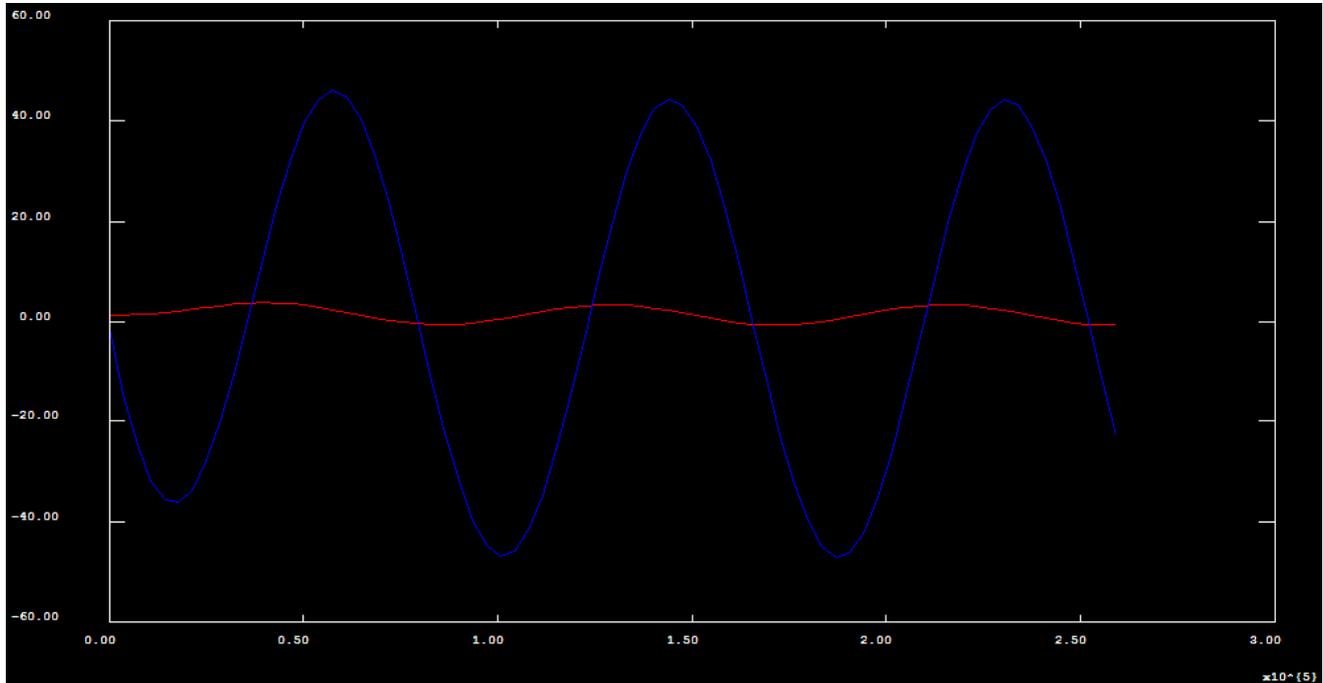
L'opérateur **INSERER** insère dans progint l'objet &bou1. De même pour progext avec l'objet &bou2.

On obtient au final les flux de chaleur entre les parois et les milieux externes que l'on trace.

On extrait les données de cast3M que l'on transforme en fichier Excel grâce à l'opérateur **@excel1**

Au final, on calcul l'intégral des flux avec l'opérateur **SOMME** et on obtient la valeur du flux total durant la période de l'essai.

Flux total intérieur= $4.19 \cdot 10^5$



b) Mur sans MCP

Dans un deuxième temps, on effectue le même programme mais sans le matériau à changement de phase. Cela permet de comparer les flux avec et sans MCP.

OPTI DIME 2 ELEM TRI3;

DENSITE 2.E-2;

eBA= 0.013; eISO= 0.05; eBET= 0.10;

H=1.;

K1=0.325;

RHO1=816.;

C1=1400.;

K3=0.040;

RHO3=11;

C3=660.;

$K_4=2;$

$RHO_4=2300;$

$C_4=790.;$

$Hint=5.;$

$Hext=8.;$

$Tint=20.;$

$Text=22.5;$

$p_1=0. 0.; p_2=eBA 0.; p_3=(eBA+eISO) 0.;$

$p_4=(eBA+eISO+eBET) 0.;$

$d_1= p_1 \text{ droi } p_2;$

$d_2= p_2 \text{ droi } p_3;$

$d_3= p_3 \text{ droi } p_4;$

$vec_1= 0. H;$

$s_1=d_1 \text{ TRAN } vec_1 \text{ COUL } \text{blan};$

$N_1=D_1 \text{ NBEL};$

$N_2=S_1 \text{ NBEL};$

$N_3=N_2/N_1/2;$

$s_2=d_2 \text{ TRAN } N_3 \text{ vec}_1 \text{ COUL } \text{jaun};$

$s_3=d_3 \text{ TRAN } N_3 \text{ vec}_1 \text{ COUL } \text{gris};$

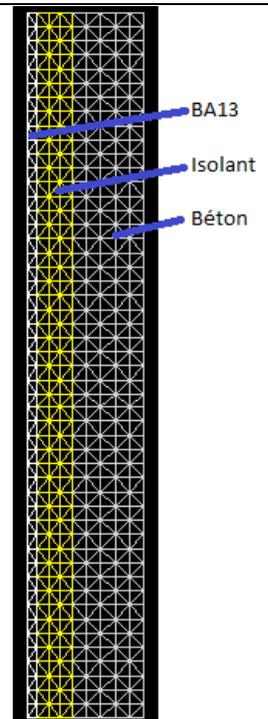
$dint=s_1 \text{ cote } 4;$

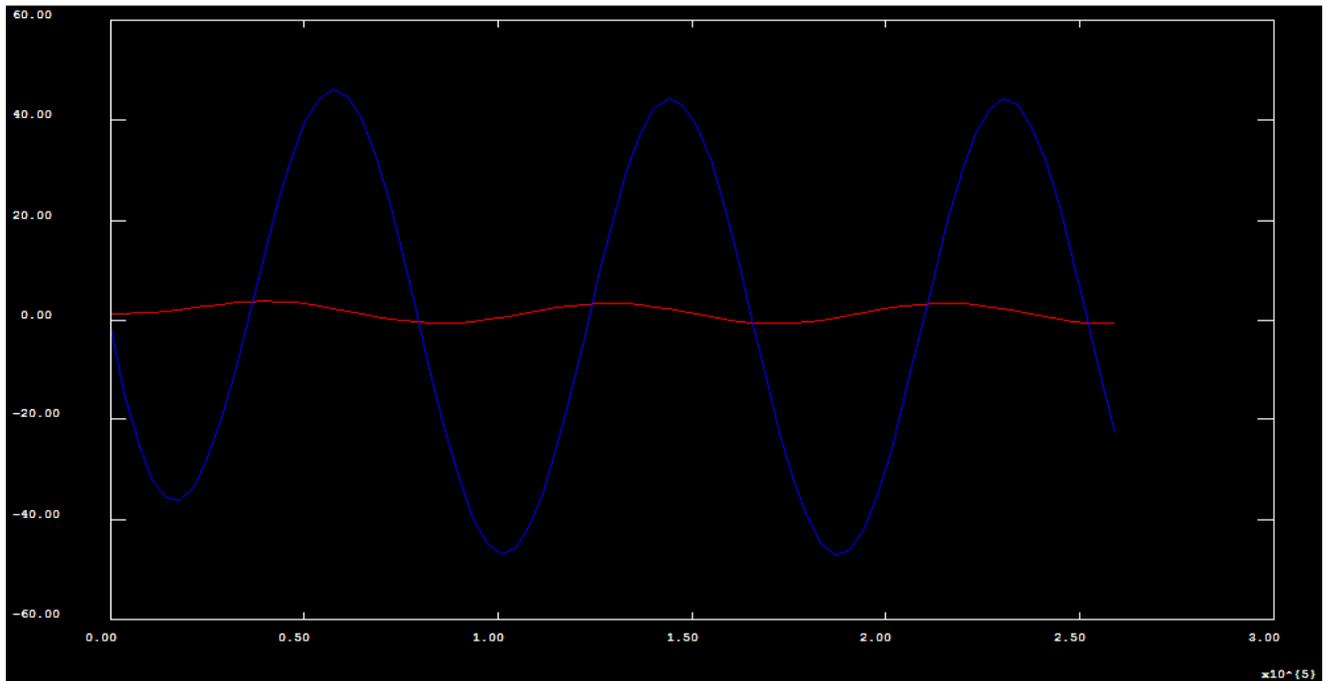
$dext=s_3 \text{ cote } 2;$

$stot= s_1 \text{ et } s_2 \text{ et } s_3;$

$cont_1=CONTOUR \text{ stot};$

$elim \text{ stot};$





Flux total intérieur= $4.44 \cdot 10^5$

4. Bilan

Gain d'énergie avec MCP :

$$\frac{4.44-4.19}{4.44} = 0.056 \text{ soit } 6\% \text{ environ.}$$

Avec les hypothèses effectuées initialement (propriétés des matériaux, épaisseur des matériaux lors de la modélisation, évolution de la température), on note une légère baisse de la perte d'énergie par le mur. Cependant, cette baisse n'est pas flagrante. Pour avoir une meilleure isolation du mur, on pourrait soit changer les propriétés des matériaux de base mis en place ou changer les conditions climatiques extérieures.

WEBOGRAPHIE

Pour les informations relatives au programme Cast3M :

- <http://www-cast3m.cea.fr/>
- <http://fr.wikipedia.org/wiki/CAST3M>

Pour les informations relatives aux matériaux à changement de phase:

- [http://fr.wikipedia.org/wiki/Mat%C3%A9riau_%C3%A0_changement_de_phase_\(thermique\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Mat%C3%A9riau_%C3%A0_changement_de_phase_(thermique))
- http://www.univ-paris-diderot.fr/DocumentsLabos/126H/File/TH6_MCP.pdf
- http://simpfri.cemagref.fr/Seminaire_Clature/SIMPFRi-Session-3-DL-3.pdf
- <http://www.materiaux-changement-phase.com/>
- <http://www.econov.eu/2011/materiaux-changement-de-phase-batiment-innovation-prospective/>
- <http://miaep.cerma.archi.fr/spip.php?article80>

Pour les propriétés du matériau à changement de phase :

- http://www.micronal.de/portal/basf/ien/dt.jsp?setCursor=1_290798
 - http://energain.fr/Energain/fr_FR/products/thermal_mass_panel.html
-